

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

CARACTÉRISATION DE LA GUILDE DES ENNEMIS NATURELS DU
MÉLIGÈTHE DES CRUCIFÈRES (*BRASSICOGETHES VIRIDESCENS*,
COLEOPTERA : NITIDULIDAE) DANS LA CULTURE DU CANOLA DANS LA
RÉGION NÉARCTIQUE

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN BIOLOGIE

PAR

MARIE-EVE GAGNON

SEPTEMBRE 2017

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.07-2011). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

En commençant une maîtrise, je n'avais aucune idée de ce qui m'attendait. L'écriture de ce mémoire débute donc par la reconnaissance du support que mon entourage m'a donné, tout au long de ces quatre dernières années.

Je tiens à remercier du fond du coeur mon directeur de recherche, Éric Lucas et ma co-directrice de recherche, Geneviève Labrie, qui m'ont grandement soutenue durant cette aventure. Votre soutien, votre patience et vos conseils ont été d'une valeur inestimable. Merci encore de m'avoir prise sous votre aile et de m'avoir guidée à travers cette épreuve.

Ensuite, je remercie tous ceux et celles qui ont participé de loin ou de près au projet. À toute la merveilleuse équipe du CÉROM et plus particulièrement à Alexis Latraverse et Jennifer de Almeida, qui m'ont aidé sur plusieurs aspects du projet et qui ont su répondre à mes mille et une questions, merci. Merci à Simon-Pierre Chang et Michel Brouillard pour leur aide précieuse sur le terrain et en laboratoire, je n'aurais pas pu me passer de votre patience et de vos bras! Je remercie ensuite Marc Fournier et Jean-François Plante, sans qui la bonne utilisation des caméras aurait été un fiasco total. Merci aussi à Jill Vandermeerschen pour ses précieux conseils en statistiques.

Je dois aussi souligner l'appui incroyable de Nicolas Flores, qui m'aura accompagnée à travers ce périple extraordinaire. Je ne serais pas la personne que je suis aujourd'hui et je n'aurais pas accompli autant sans toi. Merci.

Finalement, cette épreuve ne serait pas complète sans Félix-Antoine Robert. Merci pour ta présence, tes conseils et tes encouragements. Ta bonne humeur et ton calme m'ont fait le plus grand bien. Merci d'être là, merci d'être toi.

Parce que je suis libre comme l'air
Libre de faire demi-tour
J'vais continuer
Continuer

- D. Bélanger

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	XI
LISTE DES TABLEAUX.....	XII
RÉSUMÉ	13
INTRODUCTION	
0.1 Problématique	17
0.2 Concepts	19
0.2.1 Espèces exotiques envahissantes.....	19
0.2.2 Hypothèse du milieu exempt d'ennemis naturels	20
0.2.3 Lutte chimique, seuils, résistance et dommages collatéraux.....	21
0.2.4 Utilisation de caméras en entomologie	22
0.3 Système biologique.....	24
0.3.1 Canola.....	24
0.3.2 Ravageurs du canola.....	27
0.3.3 Meligèthe des crucifères.....	28
0.3.4 Ennemis naturels du méligèthe des crucifères	32
0.3.5 Coccinelles	34
0.3.6 Carabes	35
0.4 Objectifs et hypothèses	39
CHAPITRE I	
PREDATION BY NEARCTIC LADYBIRDS AND CARABIDS ON THE LARVAE OF THE POLLEN BEETLE, BRASSICOGETHES VIRIDESCENS (COLEOPTERA:NITIDULIDAE) IN CANOLA FIELDS	
1.1 Abstract.....	44
1.2 Résumé	45
1.3 Introduction.....	46
1.4 Methods	47

1.4.1 Insect material.....	47
1.4.2 Ladybird voracity.....	49
1.4.3 Carabids voracity and impact of burial on terricolous predation	50
1.4.4 Statistical analysis.....	51
1.5 Results.....	51
1.5.1 Co-occurrence of predators.....	51
1.5.2 Ladybird voracity.....	53
1.5.3 Carabids voracity and impact of burial on predation.....	55
1.6 Discussion	56
1.6.1 Predation on canopy	56
1.6.2 Predation on the ground.....	58
1.7 Acknowledgements	60
1.8 References	60
CHAPITRE II	
CHARACTERISATION OF THE GUILD OF THE NEARCTIC NATURAL ENEMIES OF THE POLLEN BEETLE (BRASSICOGETHES VIRIDESCENS, COLEOPTERA:NITIDULIDAE) IN CANOLA FIELDS USING MULTIPLE INFRARED CAMERAS	
2.1 Abstract	64
2.2 Résumé.....	65
2.3 Introduction	66
2.4 Methods.....	69
2.4.1 Site description	69
2.4.2 Experimental setup	69
2.4.3 Cameras recording	70
2.4.4 Video analysis.....	71
2.5 Results	72
2.5.1 Canopy predation and parasitism	72
2.5.2 Ground activity	72
2.6 Discussion	75
2.6.1 Predation.....	75

2.6.2 Burial.....	76
2.6.3 Predators.....	77
2.7 Acknowledgements.....	79
2.8 References.....	80
CONCLUSION	83
RÉFÉRENCES.....	89

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Figure 0.1 A) Œuf de <i>B. viridescens</i> ; B) Larves de <i>B. viridescens</i> ; C) Nymphes de <i>B. viridescens</i> ; D) <i>B. viridescens</i> adulte. Photos : CÉROM.....	29
Figure 0.2 Distribution de <i>B. viridescens</i> dans l'Est canadien jusqu'en 2001 (Mason <i>et al.</i> , 2003).	30
Figure 0.3 Distribution potentielle de <i>B. viridescens</i> au Canada selon un indice Ecoclimatique (EI) développé par Mason <i>et al.</i> (2003). Les valeurs de EI indiquent les conditions climatiques favorables ou non à l'établissement des populations de méligèthes (0=non-favorable, 30=favorable).	31
Figure 0.4 Distribution actuelle de <i>B. viridescens</i> dans les différentes régions du Québec, entre 2012 et 2015 (Labrie <i>et al.</i> , 2016)	31
Figure 1.1 Voracity of male or female adult Coccinellidae on <i>Brassicogethes viridescens</i> larvae during 24 hours. Each result is represented by the mean number of larvae eaten by one individual (\pm SE). * represent significant differences between coccinellids species ($P < 0,05$). Statistical factors for this test are shown in table 1.3.....	54
Figure 1.2 Impact of larval burying on the predation of second instar pollen beetle larvae by three carabid species. Mean number of larvae eaten for each species (\pm SE). * = $P < 0,05$; n_{buried} : <i>C. fossor</i> = 12, <i>H. rufipes</i> = 15, <i>P. melanarius</i> = 15; n_{surface} : <i>C. fossor</i> = 12, <i>H. rufipes</i> = 15, <i>P. melanarius</i> = 15. Statistical factors for this test are shown in table 1.4.....	55
Figure 2.1 Field setup consisted of a waterproof case for weather protection, connected to the camera and wired directly to an energy source.	71
Figure 2.2 Hourly observations captured by video-camera: A) Number of visits monitored; B) Left axis: number of larvae predated by year, right axis: predation rate on available pollen beetle larvae; C) Percentage of larvae by action (surface, predation, migration, burial) in 2015. 10:00 AM was the average time when the larvae were deposited on the ground (indicated by arrow).....	73

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
Tableau 0.1 Abondances des prédateurs Carabidae retrouvés dans les pièges fosses en 2012 et 2013 dans 5 champs de canola au Québec (Labrie <i>et al.</i> , 2013). .	36
Table 1.1 Total Coccinellidae captured in yellow sticky-traps (ST) and collected by sweep net (SN) from Quebec's canola field in 2009 and 2010.....	52
Table 1.2 Carabidae found in pitfall traps (Harpalinae) and soil samples (Scaritinae) during sampling in 2015. Four pitfall traps were installed for seven days and twelve soil samples were taken at CEROM research center in Saint-Mathieu-de-Beloeil (Quebec, Canada)	53
Table 1.3 Statistical factors of the one-way analysis of variance conducted on the results from the voracity tests of male and female adults Coccinellidae on <i>Brassicogethes viridescens</i> larvae during 24 hours.....	54
Table 1.4 Statistical factors of the two-way analysis of variance conducted on the results of the tests of the impact of larval burying on the predation of second instar pollen beetle larvae by three carabid species	56
Table 2.1 Number of visits (V), predation (P) and predation rate per visit (%) for each identified subject for the two years of video monitoring in the field, totalling 240 hours (2014) and 984 hours (2015) of recordings by infrared cameras.....	74

RÉSUMÉ

La culture du canola représente 22 % des superficies cultivées au Canada et dépasse les 15 000 hectares au Québec. L'établissement en 2001 d'un nouveau ravageur venu d'Europe, le méligèthe des crucifères (*Brassicogethes viridescens* (Fabricius), Coleoptera : Nitidulidae), peut avoir d'importants impacts sur la production du canola au Québec. Peu d'informations sont actuellement disponibles quant à ses ennemis naturels dans la région néarctique. L'objectif de la présente étude est d'identifier les ennemis naturels et d'évaluer leur impact sur les populations du méligèthe des crucifères dans le but de déterminer leur potentiel de contrôle. Les larves de méligèthe se développent lors de la floraison du canola et se laissent ensuite tomber au sol pour la nymphose. Dans un premier temps, des tests de voracité ont été effectués sur des larves de méligèthe en laboratoire, avec trois espèces de coccinelles et trois espèces de carabes communément retrouvées en champs de canola. L'effet de l'enfouissement des larves dans le sol sur la prédation par les carabes fut aussi évalué. Les résultats confirment que *Coleomegilla maculata lengi* est plus vorace que *Coccinella septempunctata* et *Propylea quatuordecimpunctata*. De plus, la prédation était plus élevée par *Pterostichus melanarius* et *Harpalus rufipes* que par *Clivina fossor* sur les larves de méligèthe en surface. Ces résultats confirment le potentiel de prédation par certains prédateurs floricoles et terricoles observés en Amérique du Nord. Dans un deuxième temps, des observations en champs à l'aide de caméras infrarouges ont été effectuées pour caractériser la guildes des ennemis naturels impliqués durant tout le cycle vital du méligèthe des crucifères. Huit caméras ont chacune filmé en continu durant 24h trois larves de méligèthes de premier stade dans une fleur de canola. Ensuite, les caméras ont filmé dix larves de méligèthes de dernier stade au sol en continu durant 24 heures. L'analyse des vidéos n'a démontré aucun parasitisme ni prédation sur les larves dans les fleurs. Pour l'expérience au sol, les prédateurs identifiés étaient des carabes, staphylins, fourmis, oiseaux, chilopodes, grillons et limaces. Un total de 15,9 % et 24,8 % de prédation en surface en 2014 et 2015 respectivement a été observé. En analysant le comportement des larves, des taux d'enfouissement de 70 % en 2014 et de 73 % en 2015 ont été retrouvés sur les larves restées dans le champ d'enregistrement. Les temps d'enfouissement moyens étaient de 8,64 minutes en 2014 et de 26,13 minutes en 2015. Puisque tous les événements de prédation furent observés en surface, cela démontre que l'enfouissement des larves est une méthode efficace pour se protéger des prédateurs.

Mots clés : Meligèthe des crucifères, canola, ennemis naturels, coccinelles, carabes, caméras.

INTRODUCTION

0.1 Problématique

Au Québec, la production de canola a commencé en 1980 dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean et atteint en 2016 près de 13 000 hectares (Statistique Canada, 2016). En effet, c'est surtout pour le biodiesel et pour sa proportion élevée en huile et nutriments que les cultures ont augmentée de 24 % entre 2010 et 2013 dans la province (Statistique Canada, 2014). La valeur économique du canola au Québec a été estimée à 331 millions de dollars par années (Canola Council of Canada, 2013), comparés à une contribution de 19,3 milliards de dollars par année à l'économie canadienne. Au Canada, la culture du canola représente environ 22 % de la superficie des espaces cultivés (Statistique Canada, 2016) et près de 85 % de la production est exportée (Lumpur, 2013). L'établissement d'un nouveau ravageur du canola peut avoir des répercussions importantes sur les rendements des agriculteurs du Québec. L'expansion de la culture du canola peut être en péril et cela pourrait mener à une augmentation de l'usage d'insecticides et d'impacts environnementaux importants.

Venu d'Europe, le méligèthe des crucifères (*Brassicogethes viridescens* (Fabricius), syn. *Meligethes viridescens*, Coleoptera : Nitidulidae) a été aperçu pour la première fois en 1947 en Nouvelle-Écosse, selon des spécimens de la *Canadian National Collection of Insects, Arachnids and Nematodes* (CNC) (Mason *et al.*, 2003). Le méligèthe a ensuite été observé en 1993, sur les rivages de Lincolnville (44° 17' 41" N; 69° 4' 47" O), dans le Maine. En 1994 et 1995, il était retrouvé en Nouvelle-Écosse et à l'Île-du-Prince-Édouard (Hoebeker et Wheeler, 1996). Il a été observé pour la première fois au Québec, dans la région de Saint-Hyacinthe (45° 37' 10" N; 72° 57' 30" O), en 2001 (Mason *et al.*, 2003). Une étude menée en 2009 et 2010 dans 71 champs au Québec a démontré la présence de *B. viridescens* dans la plupart des régions de la province (Labrie *et al.*, 2010). Il était le plus abondant dans la région du

Lac-Saint-Jean, où la production de canola est importante, mais absent en Abitibi-Témiscamingue (Labrie *et al.*, 2010). Sa dispersion est à surveiller, puisque s'il continue à se propager vers les prairies de l'Ouest canadien, où plus de 4 millions d'hectares de canola sont produits chaque année, il pourrait y avoir d'importantes conséquences économiques et écologiques (Mason *et al.*, 2003).

En Europe, plusieurs études ont été menées sur un Nitidulidae indigène similaire, mais plus hâtif, *Brassicogethes aeneus* (Fabricius) (syn. *Meligethes aeneus*) qui est un important ravageur du canola. *Brassicogethes aeneus* et *B. viridescens* peuvent causer jusqu'à 70 % de perte de rendement dans le canola de printemps en Europe (Nilsson, 1987). Des études européennes ont démontré que l'expansion de la culture du canola s'accompagne d'une augmentation de l'abondance des méligèthes et de leurs dégâts (Hokkanen *et al.*, 1986; Lane et Walters, 1993), une affirmation à vérifier pour le Québec. En Europe, les ennemis naturels de ces ravageurs comprennent des spécialistes, telles que différentes espèces de parasitoïdes et des généralistes comme les carabes. Selon des études européennes, il existe 42 espèces de Carabidae connues comme étant des prédateurs potentiels d'insectes nuisibles en champs de canola (Williams *et al.*, 2010).

Puisque le méligèthe est un nouveau venu dans la région néarctique, peu d'informations sont disponibles quant à son contrôle naturel au Québec. C'est donc en se basant sur la littérature européenne que l'étude des prédateurs floricoles et terricoles sera conduite. Les coccinelles et les carabes pourraient constituer des groupes de prédateurs potentiels importants dans le contrôle naturel des ravageurs et sont considérés comme des agents de régulation importants, surtout en agriculture (Kromp, 1999; Michaud, 2012). Au Québec, des études préliminaires ont identifié les Coccinellidae et Carabidae présents dans les champs de canola (Labrie, Vanasse, Rioux, & Pageau, 2012), mais leur potentiel de prédation sur le méligèthe des

crucifères n'est pas connu. De plus, aucun ennemi naturel spécialiste, tels des parasitoïdes, n'a été identifié jusqu'à présent.

Afin d'évaluer le potentiel et le succès d'invasion du méligèthe des crucifères au Canada, il est essentiel d'évaluer l'impact des ennemis naturels de ce nouveau ravageur, ceci étant l'objectif principal de la présente étude. Ensuite, l'objectif sera d'évaluer l'impact de la prédation de certains prédateurs potentiels en laboratoire. Ceci nous amènera à déterminer l'impact de l'enfouissement des larves de méligèthe, de la taille et du régime alimentaire des prédateurs sur la prédation. Par la suite, l'objectif est de caractériser la guildes des ennemis naturels en champs de canola, à l'aide de caméras infrarouges. Ceci permettra d'identifier les ennemis naturels présents durant tout le cycle vital du méligèthe des crucifères, soit des larves de premier stade durant la floraison du canola et des larves prêtes à la pupaison, à la surface du sol et sous le sol.

0.2 Concepts

0.2.1 Espèces exotiques envahissantes

Une espèce invasive, telle que *B. viridescens*, est une espèce introduite qui envahit et qui peut éventuellement nuire à un nouveau milieu (Whitfield et Purcell, 2013). Les espèces invasives peuvent avoir un impact important sur la biodiversité et peuvent causer des changements majeurs dans leur environnement (Vitousek *et al.*, 1996). La majorité des écosystèmes occupés par l'homme abritent des espèces qui y ont été introduites volontairement ou involontairement (Beisel et Lévêque, 2010). Les invasions biologiques peuvent certainement bouleverser la biodiversité d'un milieu et créer de nouvelles interactions entre les espèces (Beisel et Lévêque, 2010). Les espèces introduites peuvent aussi être des vecteurs de nouvelles maladies et, de ce fait, peuvent avoir un impact économique important en affectant les cultures vulnérables à leurs attaques (Vitousek *et al.*, 1996). Elles altèrent les écosystèmes à plusieurs niveaux, de la production primaire à l'organisation trophique du milieu, et

peuvent modifier considérablement les populations indigènes, les réduisant ou les menant même à l'extinction (Vitousek *et al.*, 1996). Ces espèces bénéficient de plusieurs voies d'entrée. La plus importante est celle du commerce et du voyage, mais l'industrie des animaux domestiques, les activités de chasse et pêche en milieux d'élevage, ainsi que l'élevage et la culture d'espèces exotiques participent tous à l'introduction d'espèces exotiques invasives (Hoddle, 2004).

0.2.2 Hypothèse du milieu exempt d'ennemis naturels

Les niches écologiques sont modulées par l'environnement, les ressources et leur disponibilité, la compétition interspécifique, ainsi que par les ennemis naturels (Jeffries et Lawton, 1984). Ceux-ci agissent comme un facteur modifiant la compétition et peuvent ainsi structurer des communautés complètes. Il est donc important de comprendre les interactions prédateurs-proies et de quelle manière les ennemis naturels peuvent être les principaux acteurs dans la structure d'une communauté (Jeffries et Lawton, 1984).

Le succès d'invasion des espèces exotiques envahissantes peut s'expliquer par l'absence d'ennemis naturels dans le nouveau milieu (Heger et Jeschke, 2014). Les espèces introduites auraient laissé derrière elles leurs ennemis naturels, avec lesquels elles ont coévolué dans leur milieu d'origine (Liu et Stiling, 2006). Cette hypothèse selon laquelle s'explique ce succès d'invasion est connue comme la « *enemy release hypothesis* » (Heger et Jeschke, 2014), traduite ici comme l'hypothèse du milieu exempt d'ennemis naturels. Des preuves empiriques manquent sur la validité de cette hypothèse dans le succès d'invasion des invertébrés (Roy *et al.*, 2011). Par exemple, l'hypothèse du milieu exempt d'ennemis naturels pourrait expliquer le succès d'invasion de la coccinelle asiatique (*Harmonia axyridis* (Pallas), Coleoptera : Coccinellidae). Dans son nouveau milieu, *H. axyridis* aurait vu diminuer sa régulation par ses ennemis naturels, comme le parasitoïde *Dinocampus coccinellae* (Schrank) (Hymenoptera : Braconidae) et le champignon entomopathogène *Beauveria bassiana*

(Bals.-Criv. Et Vuill.) (Hypocreales : Ophiocordycipitaceae) (Roy *et al.*, 2011). Par exemple, *D. coccinellae* n'est pas adapté à la population québécoise de *H. axyridis*, qui est envahissante dans la province (Firlej *et al.*, 2005). Les espèces indigènes sont fortement régulées par leurs ennemis naturels et cela entraînerait l'augmentation de la dispersion et de l'abondance des populations de l'espèce invasive (Roy *et al.*, 2011).

Keane et Crawley (2002) prédisent que dans le contexte d'une espèce introduite dans un nouveau milieu, les ennemis naturels spécialistes seront absents. Cependant, deux mécanismes à travers lesquels les ennemis naturels spécialistes pourraient être trouvés dans le nouveau milieu sont émis par ces auteurs. Le premier mécanisme suppose un changement de proie de la part des prédateurs déjà présents, délaissant les insectes indigènes au profit des nouveaux arrivants. Ce mécanisme sous-entend une certaine similitude entre la proie indigène et l'insecte envahissant. Ce dernier étant plutôt rare, le second mécanisme implique une co-introduction de l'espèce envahissante et de ces prédateurs naturels (Keane et Crawley, 2002). À l'opposé, les ennemis naturels généralistes peuvent favoriser le succès d'invasion de l'espèce exotique, car ils auraient aussi un impact plus important sur les populations des compétiteurs de l'espèce exotique dans le nouveau milieu (Keane et Crawley, 2002). En d'autres mots, cela peut entraîner une diminution de la compétition interspécifique. Bref, si les ennemis naturels généralistes exercent un rôle plus important que les ennemis naturels spécialistes dans la structure de la communauté, il y aura une augmentation de l'abondance de l'espèce exotique à travers une baisse de compétition.

0.2.3 Lutte chimique, seuils, résistance et dommages collatéraux

Les populations de méligèthes des crucifères sont en augmentation depuis quatre ans au Québec (Bilodeau *et al.*, 2013), mais aucune méthode de lutte n'est utilisée et il n'y a aucun seuil d'intervention établi. En Europe, les seuils d'intervention contre le méligèthe des crucifères se situent entre 3 et 4 méligèthes par plant aux stades

boutons accolés et de 7 à 8 méligèthe par plant au stade boutons séparés-bouton jaune. Cependant, des plants sains pourraient tolérer jusqu'à 10 méligèthe par plant (Réseau d'avertissement phytosanitaires (RAP), 2016). Lorsque les seuils sont atteints, le traitement le plus préconisé en Europe est l'utilisation d'insecticides, surtout des pyréthrine (Warner, 2001). Cependant, des études européennes démontrent le développement de résistance aux pyréthrine chez l'insecte ((Zimmer *et al.*, 2014); Williams, 2010). Le méligèthe aurait développé une résistance métabolique, dégradant l'insecticide par deux voies enzymatiques indépendantes (Délès, 2008).

L'application de traitements insecticides a souvent un impact négatif sur les populations d'ennemis naturels, surtout sur les parasitoïdes du méligèthe (Hokkanen *et al.*, 1988). Cela crée un déséquilibre important du nombre de prédateurs vis-à-vis des proies et augmente ainsi les risques d'infestations par le méligèthe (Hokkanen, 2000). Des études menées par Vickerman (1992) démontrent une diminution de 53 % de la diversité et de l'abondance des prédateurs et parasitoïdes dans des champs de blé suite à des applications d'insecticides. De plus, Büchs *et al.* (1997) assurent qu'en augmentant les productions intensives de canola, on observe des diminutions importantes d'abondance, de la richesse spécifique et du taux de reproduction des arthropodes s'y retrouvant, à cause des insecticides utilisés plus intensivement et de la diminution de la biodiversité. Il est donc clair que des recherches portant sur les ennemis naturels du méligèthe doivent débiter au Québec et qu'une stratégie pour conserver leurs populations doit être élaborée, considérant l'impact inhibiteur des insecticides sur ceux-ci (Ekblom, 2010).

0.2.4 Utilisation de caméras en entomologie

Comme *B. viridescens* a été introduit récemment en Amérique du Nord, il convient de déterminer, de façon expérimentale, l'impact des principaux prédateurs indigènes sur les populations de ce ravageur. Ceci peut se faire par l'utilisation de caméras,

capturant ainsi l'essence même des interactions prédateur-proie en nature et récoltant aussi une multitude d'informations (Walton & Grieshop, 2016). C'est une méthode laborieuse, mais qui mène à des observations concrètes. Malheureusement, la majorité des études visant la prédation des ravageurs utilisent des méthodes fournissant des résultats incomplets (Grieshop *et al.*, 2012). Par exemple, l'utilisation de proies sentinelles mesure le taux de prédation relatif, mais n'identifie pas les prédateurs spécifiques. Ce système est souvent accompagné de pièges, en supposant que les prédateurs attrapés dans ceux-ci sont responsables de la consommation des proies sentinelles (Zou, Kraker, Bianchi, Telgen, & Xiao, 2017). Aussi, l'observation directe est utilisée pour identifier les prédateurs et leur comportement envers les proies. Cependant, le nombre d'observations simultanées est limité et les observations nocturnes s'avèrent plus difficiles. Les essais de voracité en laboratoire peuvent aussi être utilisés pour déterminer si un prédateur consomme une proie spécifique, mais ne peuvent pas représenter les conditions naturelles (Grieshop *et al.*, 2012). La technologie des caméras peut contrer ces problèmes en fournissant des données comportementales précises, en plus d'identifier les ennemis naturels présents directement dans le champ.

Quelques études entomologiques ont été menées en utilisant des caméras. Par exemple, la prédation intragilde par des prédateurs aphidiphages sur des pucerons momifiés a été étudiée à l'aide de caméras de surveillance en champs (Meyhöfer, 2001). Des données sur les insectes pollinisateurs (Steen, 2016), sur les prédateurs en bleuetière et en champs de maïs (Grieshop *et al.*, 2012) ont aussi été récoltées sur vidéos. Il s'agit d'une méthode innovatrice qui ne perturbe pas l'environnement et les sujets observés et qui permet de lier des comportements directement à un individu ou à une condition spécifique (Meyhöfer, 2001).

0.3 Système biologique

0.3.1 Canola

0.3.1.1 Informations générales

Le canola fait partie de la famille des crucifères (Brassicaceae), qui renferme entre autres le chou, le brocoli, le chou-fleur et la moutarde. Le terme « canola », de l'anglais « *Canada oil low acid* », est une marque de commerce enregistrée de l'Association Canadienne du Canola (Raymer, 2002). Il désigne que l'huile extraite des grains contient moins de 2 % d'acide érucique et que les tourteaux (résidus solides ressortant de l'extraction de l'huile) séchés contiennent moins de 30 micromoles de glucosinolates par gramme (Raymer, 2002). À cette heure, certains pays utilisent l'appellation « colza double zéro » ou « colza de qualité de type canola » pour désigner le canola (Casséus, 2009) et ces termes englobent les mêmes espèces cultivées au Canada. Par exemple en Europe, on peut toujours voir le terme « colza » sur les produits alimentaires, mais les normes d'acide érucique sont les mêmes, puisqu'une concentration trop élevée de celle-ci présente des dangers pour la santé (Casséus, 2009). Cependant, il existe toujours des cultures de colza non-destinées à l'alimentation qui utilisent des cultivars totalement différents (Raymer, 2002).

La production mondiale de canola est basée essentiellement sur deux espèces, soit *Brassica napus* (L.) et *Brassica rapa* (L.), qui existent toutes deux sous des formes de canola de printemps et d'automne (Raymer, 2002). *Brassica napus* est aussi connu comme étant le canola de type argentin et *B. rapa* de type polonais. Plusieurs cultivars ont été créés à partir de ces deux types en ciblant des caractéristiques telles que le rendement et la proportion d'huile dans les grains (Canola Council of Canada, 2011). À travers l'Europe et dans quelques régions de la Chine, ce sont les cultivars d'automne de *B. napus* qui sont les plus cultivés, tandis que ceux de printemps sont produits au Canada, en Europe du Nord et en Chine. Les cultivars de printemps de *B.*

rapa sont surtout produits dans l'Ouest canadien, en Europe du Nord, en Chine et en Inde. Au Québec, c'est le type argentin (*B. napus*) de printemps qui est le plus cultivé, puisqu'il a le potentiel de rendement le plus élevé (de 1,5 à 3,5 tonnes/hectare) et qu'il est le mieux adapté, pouvant être cultivé dans les régions où il y a entre 80 et 120 jours sans gel par année (Zoghلامي *et al.*, 2013). Il existe environ 8 cultivars disponibles pour le Québec (RGCQ, 2013). De plus, 95 % des superficies de canola cultivées au Québec sont constituées de cultivars hybrides et présentent une résistance aux herbicides (Zoghلامي *et al.*, 2013).

0.3.1.2 Historique

Le canola cultivé au Québec provient d'une ancienne variété de colza, une oléagineuse cultivée en Asie et en Europe (Casséus, 2009). En effet, le colza était cultivé pour ses propriétés physiques largement reconnues en tant que lubrifiants dans les moteurs à vapeur pour les navires (Casséus, 2009). Au cours de la Seconde Guerre Mondiale, le Canada a implanté le colza d'urgence pour approvisionner les navires de guerre. À la fin de l'ère des moteurs à vapeurs, une solution pour garder l'industrie du colza actif au Canada a dû être trouvée. Le colza comportait des concentrations d'acide érucique et de glucosinolates trop importantes pour la consommation humaine et animale (Casséus, 2009). Des scientifiques canadiens ont développé le canola, une plante issue d'expériences traditionnelles de croisements et qui, étant donné sa faible concentration en acide érucique, est acceptable pour la consommation humaine et animale. Elle a donc remplacé le colza dans toutes les productions à travers le pays dans les années 1980 (Casséus, 2009). Sa production est classée comme deuxième culture en importance mondiale derrière le soja, avec en 2012 un rendement de 62 millions de tonnes métriques (Raymer, 2002; USDA, 2014), de la catégorie des oléagineuses, c'est-à-dire une culture riche en lipide et cultivée pour son huile.

0.3.1.3 Agronomie et développement

Le canola de printemps doit être semé dans un sol bien drainé, lourd et égoutté (Zoghلامي *et al.*, 2013). Le type de sol le plus favorable est un loam limono argileux, avec un pH entre 5,5 et 7 (MAAARO, 2009; Zoghلامي *et al.*, 2013). La température du sol idéale pour la croissance du canola est de 10°C et cela prend de 90 à 100 jours pour que le plant atteigne sa maturité (MAAARO, 2009). Les grains doivent être semés à une profondeur entre 1 et 2,5 cm, à un taux de semis de 5 à 7 kg/ha, ce qui donne généralement 80 à 100 plants/m² (Zoghلامي *et al.*, 2013). Les grains subissent un traitement de semence fongicide et insecticide (MAAARO, 2009). De plus, une fertilisation organique avec de l'engrais de ferme amène des éléments fertilisants essentiels à la croissance du canola (Zoghلامي *et al.*, 2013). Une fertilisation d'azote et de phosphore est nécessaire et les doses recommandées sont de 80 à 120 kg N/ha et de 11 à 17 kg PO₄/ha respectivement (Zoghلامي *et al.*, 2013; MAAARO, 2009). *Brassica napus* est semé et se développe jusqu'au stade dit « quatre feuilles » en mai. Il passe du stade « rosette » au stade « bouton » en juin, suivi de la floraison en juillet. Les fructifications de type siliques se remplissent en août et les plants atteignent la maturité en septembre, où la récolte des grains s'effectue. Bien sûr, la période des stades peut varier selon les régions (MAAARO, 2009).

0.3.1.4 Phytoprotection

Le canola peut être sensible aux mauvaises herbes et à certaines maladies, en plus d'être la cible d'insectes ravageurs. Parmi les mauvaises herbes, on peut retrouver par exemple les gaillets, des plantes qui appartiennent au genre *Galium* (L.) (Rubiales : Rubiaceae), le chardon des champs (*Cirsium arvense* (L.) (Asterales : Asteraceae)) et la folle-avoine (*Avena fatua* (L.) (Cyperales : Poaceae)). Il faut aussi surveiller la hernie des crucifères, qui est une maladie causée par le champignon *Plasmodiophora brassicae* (Woronin) (Plasmodiophorales : Plasmodiophoriceae) s'attaquant aux racines de la plante (Zoghلامي *et al.*, 2013). La sclérotiniose, ou moisissure blanche

du canola, est causée par le champignon *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) (Helotiales : Sclerotiniaceae) se développe sur les fleurs et contamine ensuite le plant au complet (Zoghلامي *et al.*, 2013). De nombreux insectes ravageurs s'attaquent aussi au canola.

0.3.2 Ravageurs du canola

Outre le méligèthe des crucifères, le canola fait face à plusieurs autres ravageurs. On y retrouve l'altise des crucifères (*Phyllotreta cruciferae* (Goeze), Coleoptera : Chrysomelidae), l'altise du navet (*P. striolata* (F.), Coleoptera : Chrysomelidae), le charançon de la silique (*Ceutorhynchus obstrictus* (Marsham), Coleoptera : Curculionidae), la fausse-teigne des crucifères (*Plutella xylostella* (L.), Lepidoptera : Plutellidae), la cécidomyie du chou-fleur (*Contarinia nasturtii* (Kieffer), Diptera : Cecidomyiidae) et la punaise terne (*Lygus lineolaris* (Palisot de Beauvois), Hemiptera : Miridae), tous étant considérés comme ravageurs principaux et pour lesquels des seuils d'intervention sont établis (Hallett, Goodfellow, & Heal, 2007; Tremblay, Labrie, & Pageau, 2011) (MAARO, 2009). D'autres ravageurs dits secondaires sont tout de même à surveiller, car ils peuvent causer des dommages à l'occasion et aucun seuil d'intervention n'est établi; la cicadelle de l'aster (*Macrostelus quadrilineatus* (Forbes), syn. *Macrostelus fascifrons*, Hemiptera : Cicadellidae), la piéride du chou (*Pieris rapae* (L.), Lepidoptera : Pieridae), certaines espèces de pucerons (par exemple *Lipaphis pseudobrassicae* (Davis), Hemiptera : Aphididae), les mouches du chou (par exemple *Delia radicum* (L.), Diptera : Anthomyiidae), la tipule des prairies (*Tipula paludosa* (Meigen), Diptera : Tipulidae) et finalement les vers fil-de-fer (par exemple *Limonius agonus* (Say), Coleoptera : Elateridae) (Tremblay *et al.*, 2011; MAARO, 2009).

0.3.3 Méligèthe des crucifères

0.3.3.1 Morphologie et cycle de vie

Du genre *Brassicogethes*, anciennement *Meligethes*, *B. viridescens* se distingue des autres méligèthes par la présence d'une dent subapicale sur la marge postérieure du fémur médian (Hoebeke et Wheeler, 1996). La majorité des adultes ont le corps noir avec des reflets d'une couleur vert-bleue foncée métallique (Figure 0.1D). Les pattes et les pièces buccales sont souvent jaune-orangé et les antennes en forme de massue (Hoebeke et Wheeler, 1996). Ils ont les élytres ponctués et une taille pouvant varier de 1,5 à 2,5 mm. Le stade larvaire quant à lui peut atteindre 5 mm. La larve se distingue par sa couleur jaunâtre, sa tête et ses pattes plutôt brun foncé et ses 2-3 taches brunes sur la face dorsale de chaque segment du corps (Figure 0.1B).

Les méligèthes ayant passé l'hiver commencent à émerger du sol dès que les températures ambiantes atteignent environ 10°C (Nilsson, 1988a). Ils doivent ensuite trouver une source de nourriture à proximité des sites d'hibernation. Les femelles qui en sortent n'ont pas encore les ovaires développés et, pour atteindre la maturité sexuelle, elles doivent se nourrir du pollen d'herbacées et d'arbustes en fleur (Hoebeke et Wheeler, 1996). Dès que la température atteint les 15°C, les adultes s'envolent à la recherche de plantes crucifères pour l'accouplement (Hoebeke et Wheeler, 1996). Avant la floraison, ils se nourrissent des boutons floraux et peuvent causer de sérieux dommages. Ensuite, la ponte se fait à l'intérieur de boutons floraux mesurant de préférence entre 2 et 3 mm de long (Hoebeke et Wheeler, 1996), sur lesquels la femelle mâche une ouverture pour y déposer de 2 à 3 œufs (Figure 0.1A; Ekblom et Borg, 1996). Au total, de 200 à 300 œufs peuvent être pondus par femelle (Nilsson, 1988b). Il y a deux stades larvaires. Les œufs éclosent après 4-7 jours et le premier stade larvaire se nourrit du pollen à l'intérieur-même du bouton floral. Après 5-10 jours, les larves atteignent le 2^e stade larvaire, mesurent environ 5 mm et se nourrissent du pollen des fleurs. Cela prend ensuite 2 semaines avant que la larve ne

se laisse tomber au sol. Elle y reste pour un maximum de 8,5 minutes (Warner, 2001) avant qu'elle ne s'enfonce pour effectuer la nymphose (Figure 0.1C) à environ 0,5-2 cm sous le sol, pour une période de 14 à 18 jours (Hoebeke et Wheeler, 1996). À l'émergence, les adultes de la nouvelle génération se nourrissent du pollen de plusieurs types de crucifères. Au début de l'automne, ils recherchent un site pour hiberner dans le sol ou la litière des bordures des champs de canola. *Brassicogethes viridescens* est un insecte univoltine (Hoebeke et Wheeler, 1996).

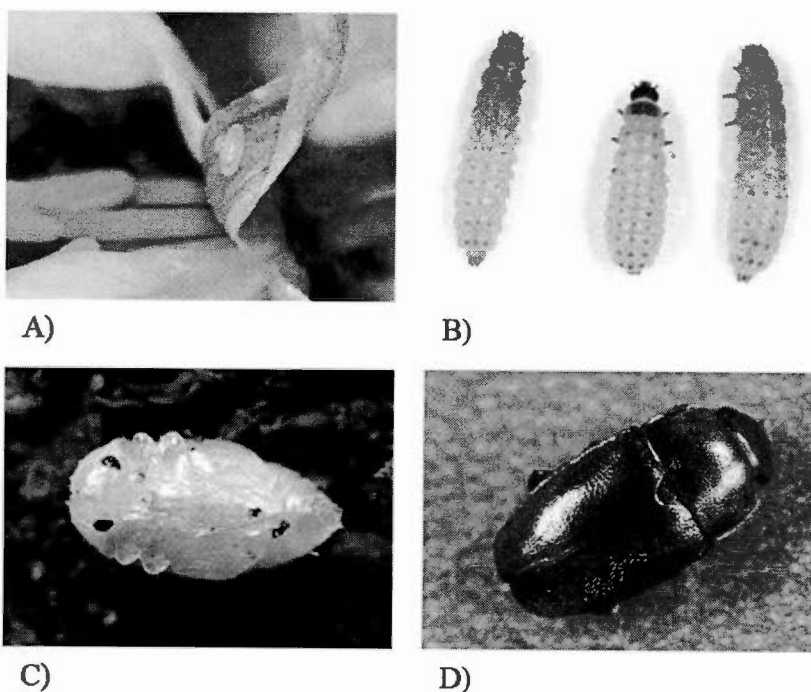


Figure 0.1 A) Œuf de *B. viridescens*; B) Larves de *B. viridescens*; C) Nymphes de *B. viridescens*; D) *B. viridescens* adulte. Photos : CÉROM.

0.3.3.2 Distribution

Brassicogethes viridescens est commun dans toute la sous-région de l'ouest paléarctique (Mason *et al.* 2003). Sa distribution en Europe s'étend partout au nord et ce, jusqu'au 65° parallèle. Il est aussi présent à travers l'ouest de l'Afrique du Nord, la Turquie, le nord du Moyen-Orient, le Caucase, le nord de l'Iran et l'ouest du

Kazakhstan (Mason *et al.* 2003). Depuis son arrivée en Amérique du Nord, le melligèthe s'est établi en Nouvelle-Écosse, à l'Île-du-Prince-Édouard et au Maine (Hoebeke et Wheeler, 1996) et la figure 0.2 démontre les endroits où sa présence a été constatée. Sa distribution potentielle à travers le Canada est illustrée à la figure 0.3. Au Québec, il est maintenant présent jusqu'au Lac-Saint-Jean, et au nord et autour de Montréal (figure 0.4) (Labrie *et al.*, 2010; Mason *et al.*, 2003). Il peut être présent dans les mêmes endroits que les plantes crucifères peuvent croître, c'est-à-dire jusqu'à 1000 mètres en altitude, ce qui fait qu'elle est considérée comme une des espèces de Nitidulidae les plus adaptables à son milieu (Hoebeke et Wheeler, 1996).

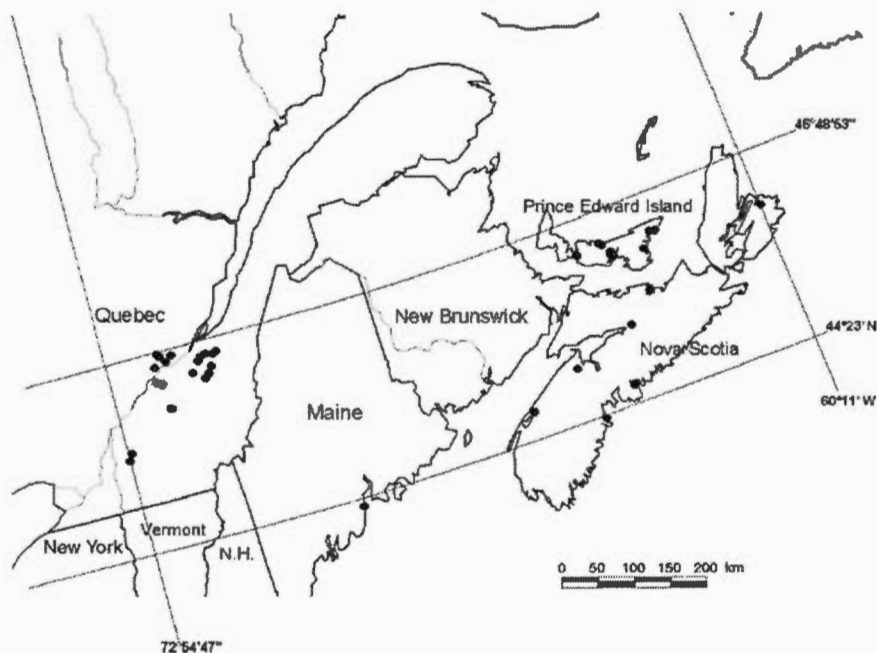


Figure 0.2 Distribution de *B. viridescens* dans l'Est canadien jusqu'en 2001 (Mason *et al.*, 2003).

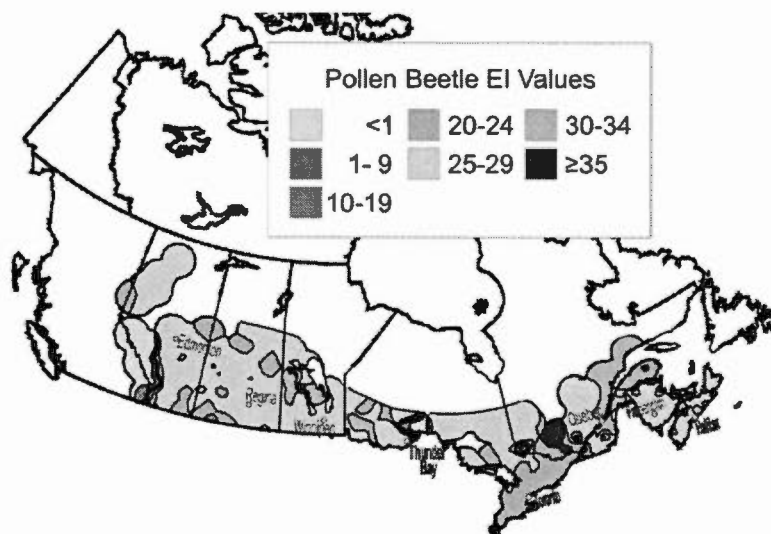


Figure 0.3 Distribution potentielle de *B. viridescens* au Canada selon un indice Ecoclimatique (EI) développé par Mason *et al.* (2003). Les valeurs de EI indiquent les conditions climatiques favorables ou non à l'établissement des populations de méligèthes (0=non-favorable, 30=favorable).

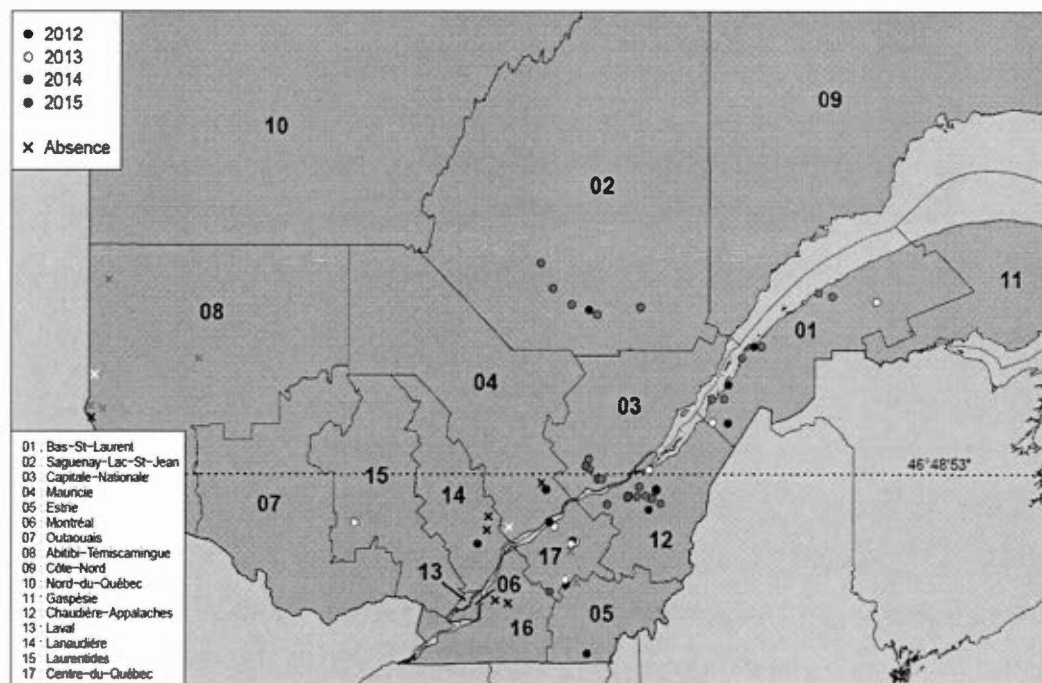


Figure 0.4 Distribution actuelle de *B. viridescens* dans les différentes régions du Québec, entre 2012 et 2015 (Labrie *et al.*, 2016)

0.3.4 Ennemis naturels du méligèthe des crucifères

Le méligèthe a plusieurs ennemis naturels connus en Europe, dont des pathogènes, parasito ides, et prédateurs. Ils y exercent un contrôle important des populations de *B. viridescens* (Büchs & Alford, 2003) et seront décrits ci-dessus.

0.3.4.1 Pathogènes

En Europe, certaines espèces de nématodes ont été découvertes comme agent pathogène s'attaquant aux larves et nymphes de méligèthe (*B. aeneus* et *B. viridescens*) dans le sol. Des infections par les nématodes entomopathogènes *Steinernema bicornutum* (Tallosi, Peters et Ehlers), *Steinernema feltiae* (Filipjev), *Steinernema carpocapsae* (Weiser) et *Heterorhabditis bacteriophora* (Poinar) ont été observées sur *B. aeneus*, dont le succès de nymphose était réduit de 50 à 80% (Nielsen et Philipsen, 2005). Un protozoaire entomopathogène, *Nosema meligethi* (Issi et Raditsheva) (Microsporidia) a été étudié par Lipa et Hokkanen (1992). Son infection affecte les adultes de *B. aeneus* en hibernation sans les tuer directement et augmente la mortalité hivernale. Cette espèce est présente dans le milieu naturel du méligèthe et pourrait constituer un élément intéressant de lutte intégrée (Lipa & Hokkanen, 1992; Warner, 2001).

Finalement, plusieurs espèces de champignons entomopathogènes sont connues pour infecter le méligèthe des crucifères. Tout comme *N. meligethi*, l'ascomycète *B. bassiana* diminue la survie hivernale de l'adulte de *B. aeneus* dans le sol (M nd *et al.*, 2010). C'est par l'action de ses conidies pénétrant l'insecte que le champignon l'infecte et se développe à l'intérieur (Butt *et al.*, 1998). De plus, la dissémination des spores de *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff et Sorokin) (Hypocreales : Clavicipitaceae) par *Apis mellifera* (L.) (Hymenoptera : Apidae) a des impacts importants sur les populations de méligèthe des crucifères en Europe (Butt *et al.*, 1998; M nd *et al.*, 2010). Une étude menée dans des champs de canola expérimentaux en fleurs montre des taux de mortalité des adultes de *B. aeneus* de

61% dans le canola d'automne et de 100% dans le canola de printemps, et la majorité des individus retrouvés morts présentaient des spores développés de *M. anisopliae* (Butt *et al.*, 1998).

0.3.4.2 Parasitoïdes

En Europe, le méligèthe des crucifères est la cible de plusieurs parasitoïdes. Le parasitisme à lui seul peut réduire ses populations de 50% dans plusieurs pays européens, selon une étude portée au Royaume-Uni, en Suède, en Pologne, en Allemagne et en Estonie (Ulber *et al.*, 2010). Dans les régions cultivant surtout le canola de printemps, les espèces de guêpes parasitoïdes les plus abondantes sont les suivantes : *Tersilochus heterocerus* (Thomson) (Hymenoptera : Ichneumonidae), *Phradis interstitialis* (Thomson) (Hymenoptera : Ichneumonidae), *Phradis morionellus* (Holmgren) (Hymenoptera : Ichneumonidae) et *Diospillus capito* (Nees) (Hymenoptera : Braconidae) (Ulber *et al.*, 2010). Ces espèces d'endoparasitoïdes koïnobiontes (qui injectent leurs œufs à l'intérieur de l'hôte et s'y développent sans tuer l'hôte) (Ulber *et al.*, 2010) attaquent les larves de premier stade de *B. aeneus* dans les boutons floraux et se développent dans la nymphe lorsque le méligèthe se laisse tomber au sol. Les guêpes hibernent dans leur cocon et émergent au printemps, pour se disperser vers de nouveaux hôtes (Ulber *et al.*, 2010).

Aucun parasitoïde de *B. viridescens* n'a été observé au Québec à ce jour et la plus récente étude (Labrie *et al.*, 2013) n'a récolté aucune information quant à leur présence dans la province. Selon Dosdall et Mason (2010), les espèces de parasitoïdes européens qui ont le plus grand potentiel de compatibilité dans un cas d'introduction en Amérique du Nord seraient *P. morionellus* (Holmgren) et *D. capito* (Nees), puis *Brachyserphus parvulus* (Nees) (Hymenoptera : Proctotrupidae) et *Blacus nigricornis* (Haeselbarth) (Hymenoptera : Braconidae), qui sont aussi présents en Europe, mais qui sont considérés comme étant de moindre importance. Si le méligèthe des

crucifères se propage vers l'ouest du Canada, ces candidats seraient à considérer dans le cadre d'un éventuel plan de lutte biologique.

0.3.4.3 Prédateurs

Il existe une grande diversité de prédateurs potentiels en champs de canola, dont les Coccinellidae, les Carabidae, les Staphylinidae et les Araneae. Peu d'information est disponible quant à l'incidence des Staphylinidae sur les populations de méligèthe des crucifères, à part leur régime généralement carnivore et leur abondance sur les sols des cultures de canola. En Europe, on retrouve parmi les Araneae la famille des Lycosidae qui est surtout épigée, se trouvant à la surface du sol, et les larves de *B. aeneus* qui s'y laissent tomber font partie de sa diète (Büchs *et al*, 1997). Dans les parties aériennes des plants de canola, les Thomisidae s'attaquent aux adultes et aux jeunes larves de *B. aeneus* (Büchs *et al*, 1997). Dans les champs de canola du Québec en 2012 et 2013, les Staphylinidae et les Araneae représentaient respectivement 6,2% et 20,5% des individus échantillonnés (Labrie, Mason, Vincent, & Broadbent, 2013).

0.3.5 Coccinelles

La famille des Coccinellidae renferme plusieurs espèces prédatrices connues pour contribuer au contrôle biologique d'espèces nuisibles (Michaud, 2012). Parmi les grandes cultures, la culture du canola contient la biodiversité la plus importante de coccinelles à travers le Québec, avec 16 espèces recensées (Labrie *et al*. 2012). Les trois espèces les plus nombreuses dans la canopée sont *Coleomegilla maculata lengi* (Timberlake, 1943), *Coccinella septempunctata* (L., 1758) et *Propylea quatuordecimpunctata* (L., 1758) (Labrie *et al.*, 2012) et elles sont aphidiphages (Hodek & Evans, 2012). Cependant, *C. maculata lengi* et *P. quatuordecimpunctata* sont citées comme étant polyphages et *C. maculata lengi* s'alimente beaucoup du pollen de maïs, qui serait un élément essentiel de sa diète (Hodek & Evans, 2012). Puisque les fleurs de canola produisent beaucoup de pollen et que le méligèthe s'en nourrit, cette espèce de coccinelle pourrait être considérée comme un prédateur

potentiel de *B. viridescens*. Ensuite, *C. septempunctata* pourrait avoir un potentiel de prédation sur le méligèthe parce qu'elle suit les populations de pucerons des cultures céréalières vers le canola (Kurppa, 1989).

Les coccinelles pourraient être des prédateurs potentiels, puisqu'elles sont aussi présentes dans la canopée du canola avec le méligèthe. Le méligèthe des crucifères passe environ un mois dans les parties aériennes de la plante, soit 4-7 jours en tant qu'oeuf, et jusqu'à 21 jours en tant que larve (Hoebeke & Wheeler, 1996). En fait, la première observation d'une interaction prédateur-proie dans le canola fut d'une coccinelle s'alimentant d'une larve de méligèthe dans la canopée (Friedrichs, 1920).

0.3.6 Carabes

Il existe plus de 40 000 espèces de Carabidae (Lövei et Sunderland, 1996) et cette famille est une des plus abondantes dans les agro-écosystèmes (Williams *et al.*, 2010). La plupart des espèces étant des prédateurs polyphages, il est important de déterminer leur potentiel de contrôle sur les populations de ravageur (Kromp, 1999). Quarante-six espèces de Carabidae ont été recensées dans les champs de canola au Québec (tableau 0.1). Dans les champs de canola en Europe, 37 espèces sont reconnues pour être prédatrices des ravageurs (Williams *et al.*, 2010). Au Québec, on retrouve certaines de ces espèces, telles que *Pterostichus melanarius* Illiger (Carabidae : Harpalinae), *Harpalus rufipes* De Geer (Carabidae : Harpalinae), *Agonum muelleri* L. (Carabidae : Harpalinae), *Amara aenea* De Geer (Carabidae : Harpalinae) et *Bembidion quadrimaculatum* Say (Carabidae : Trechinae), recensées en 2012 et 2013 (tableau 0.1; Labrie *et al.* 2012). Par contre, on ne connaît pas leur potentiel de prédation contre le méligèthe des crucifères au Québec.

Des tests d'enfouissement effectués par Warner (2001) sur des larves de *B. aeneus* ont établi que 60% des larves s'enfouissent en 60 secondes et que 100% des larves sont enfouies après 510 secondes. Des carabes fouisseurs, tels que *H. rufipes*, *B. quadrimaculatum* et *Clivina fossor* L. (Carabidae : Scaritinae) ont donc le potentiel

d'être efficaces contre les larves de méligèthes enfouies (Williams *et al.*, 2010). . Bien qu'elle n'ait été que peu observée au Québec (tableau 0.1), il a été constaté que *C. fossor* est une importante espèce fouisseuse (Forsythe, 2000). Il ne faut donc pas mettre à l'écart son potentiel en tant que prédateur de *B. viridescens*. Warner (2001) suggère que *C. fossor* a une faible activité à la surface du sol et cela réduit ses probabilités de rencontrer les pièges fosses destinés à dénombrer les Carabidae, ce qui expliquerait son faible taux de capture.

Il est aussi possible d'estimer l'efficacité des espèces de Carabidae prédatrices du méligèthe des crucifères par leur taille. En effet, des relations empiriques étudiées par Warren et Lawton (1987) démontrent une corrélation entre la taille des prédateurs et celle des proies. Par exemple, Vankosky *et al.* (2011) et Baines *et al.* (1990) ont démontré en laboratoire qu'une petite espèce de carabe telle que *Bembidion quadrimaculatum* était beaucoup plus efficace à manger des œufs de charançon que l'espèce de plus grande taille *P. melanarius*.

La voracité de certaines espèces de carabes a été testée par Warner (2001) sur des larves et nymphes de *B. aeneus*. En présence de larves de *B. aeneus* seules, la moyenne de larves consommées par toutes les espèces de Carabidae était de 20 larves par individu en 2 heures. Cependant, lorsque placés devant un choix de proies, soit des larves de *B. aeneus* et des collemboles, la moyenne s'abaissait à 12 larves consommées en 2 heures par individu.

Tableau 0.1 Abondances des prédateurs Carabidae retrouvés dans les pièges fosses en 2012 et 2013 dans 5 champs de canola au Québec (Labrie *et al.*, 2013).

Carabidae	Alimentation	2012	2013	Total
<i>Agonum muelleri</i> (L.)	Prédateur	200	186	386
<i>Agonum affine</i> (Kirby)	Prédateur	2	0	2
<i>Agonum cupripenne</i> (Say)	Omnivore	4	0	4

<i>Agonum placidum</i> (Say)	Omnivore	6	375	381
<i>Agonum</i> sp.	N/D	1	1	2
<i>Amara aenea</i> (De Geer)	Omnivore	3	0	3
<i>Amara</i> sp.	N/D	11	40	51
<i>Anisodactylus</i> sp.	N/D	0	1	1
<i>Anisodactylus harrisii</i> (Le Conte)	Omnivore	1	0	1
<i>Anisodactylus nigrita</i> (Dejean)	Prédateur	3	0	3
<i>Anisodactylus sanctaecrucis</i> (Fabricius)	Omnivore	77	13	90
<i>Bembidion quadrimaculatum oppositum</i> (Say)	Prédateur	77	10	87
<i>Bembidion</i> sp.	N/D	52	7	59
<i>Bradycellus</i> sp.	N/D	0	1	1
<i>Calosoma calidum</i> (Fabricius)	Prédateur	0	17	17
<i>Chlaenius emarginatus</i> (Say)	Omnivore	0	1	1
<i>Chlaenius impunctifrons</i> (Say)	Omnivore	1	0	1
<i>Chlaenius sericeus</i> (Forster)	Omnivore	7	0	7
<i>Chlaenius tricolor</i> (Dejean)	Prédateur	13	1	14
<i>Cicindela punctulata</i> (Olivier)	Prédateur	1	0	1
<i>Clivina fossor</i> (L.)	Omnivore	5	1	6
<i>Dyschirius globulosus</i> (Say)	Prédateur	1	0	1
<i>Harpalus compar</i> (Le Conte)	Omnivore	0	1	1
<i>Harpalus erythropus</i> (Dejean)	Prédateur	1	0	1
<i>Harpalus herbivagus</i> (Say)	Omnivore	0	1	1
<i>Harpalus laticeps</i> (Le Conte)	N/D	0	1	1
<i>Harpalus pennsylvanicus</i> (De Geer)	Omnivore	598	94	692
<i>Harpalus rubripes</i> (Duftschmid)	Omnivore	0	4	4
<i>Harpalus rufipes</i> (De Geer)	Omnivore	173	322	495
<i>Harpalus</i> sp.	N/D	1	0	1
<i>Lebiini</i> sp.	N/D	0	1	1

<i>Myas cyanescens</i> (Dejean)	N/D	0	1	1
<i>Patrobus longicornis</i> (Say)	Omnivore	15	0	15
<i>Platynus decentis</i> (Say)	Omnivore	1	0	1
<i>Poecilus chalcites</i> (Say)	Omnivore	1	0	1
<i>Poecilus lucublandus</i> (Say)	Omnivore	27	130	157
<i>Pterostichus commutabilis</i> (Motschulsky)	Prédateur	1	0	1
<i>Pterostichus melanarius</i> (Illiger)	Omnivore	173	2233	2406
<i>Pterostichus mutus</i> (Say)	Prédateur	0	10	10
<i>Pterostichus novus</i> (Straneo)	Omnivore	0	1	1
<i>Pterostichus patruelis</i> (Dejean)	Prédateur	81	5	86
<i>Pterostichus vernalis</i> (Panzer)	N/D	1	0	1
<i>Stenolophus comma</i> (Fabricius)	Omnivore	3	4	7
<i>Stenolophus ochropezus</i> (Say)	Granivore	1	1	2
<i>Synuchus impunctatis</i> (Say)	Omnivore	1	0	1
<i>Tachys</i> sp.	N/D	2	0	2
Staphylinidae	-	147	276	423
Araneae	-	1132	270	1402
Abondance totale	-	2840	4010	6850
Nombre d'espèces de Carabidae	-	83	62	145

Liste des champs échantillonnés : 2012 : 1: Bécancour (46° 20' 00" N; 72° 26' 00" O) ; 2: Ste-Marguerite (46° 31' 00" N; 70° 56' 00" O); 3: St-Félix-de-Kingsey (45° 47' 40" N; 72° 11' 25" O); 4: St-Lazare-de-Bellechasse (46° 39' 00" N; 70° 48' 00" O) ; 5: St-Rosaire (46° 09' 51" N; 72° 01' 36" O) ; 2013: 1: Pont-Rouge (46° 45' 00" N; 71° 42' 00" O); 2: St-Félix-de-Kingsey (45° 47' 40" N; 72° 11' 25" O); 3: St-Raymond-de-Portneuf (1) (46° 54' 00" N; 71° 50' 00" O); 4: St-Raymond-de-Portneuf (2) (46° 54' 00" N; 71° 50' 00" O); 5: St-Rosaire (46° 09' 51" N; 72° 01' 36" O). Extrait du tableau présenté par Labrie *et al.* (2013). N/D : non-disponible. Source pour l'alimentation : Larochelle (1976).

0.4 Objectifs et hypothèses

Objectif principal : Identifier les ennemis naturels du méligèthe des crucifères et évaluer leur impact dans le canola au Québec.

A) Évaluer l'impact de la prédation sur le méligèthe des crucifères en laboratoire.

Objectif 1 : Mesurer la voracité des espèces de prédateurs les plus communes retrouvées au Québec sur les larves de méligèthe en laboratoire.

Hypothèse 1.1. Le niveau de prédation varie selon la taille.

Prédiction 1.1. Les prédateurs de grande taille seront plus voraces que ceux de petite taille.

Hypothèse 1.2. Le niveau de prédation varie selon le régime trophique.

Prédiction 1.2. Les prédateurs carnivores seront plus voraces que les prédateurs omnivores.

Hypothèse 1.3. La voracité des prédateurs est influencée par l'enfouissement des larves.

Prédiction 1.3. L'enfouissement des larves de méligèthe dans la terre diminuera la prédation des prédateurs terricoles.

B) Caractériser la guildes des ennemis naturels du méligèthe des crucifères au Québec en champs de canola, à l'aide de caméras infrarouges.

Objectif 2 : Caractériser la guildes des ennemis naturels des larves de premier stade du méligèthe des crucifères dans la canopée du canola lors de la floraison.

Objectif 3 : Caractériser la guildes des ennemis naturels des larves de deuxième stade du méligèthe des crucifères prêtes à effectuer la pupaison au sol en champs de canola.

CHAPITRE I

PREDATION BY NEARCTIC LADYBIRDS AND CARABIDS ON THE LARVAE OF THE POLLEN BEETLE, BRASSICOGETHES VIRIDESCENS (COLEOPTERA:NITIDULIDAE) IN CANOLA FIELDS

Marie-Eve Gagnon

*Laboratoire de Lutte Biologique, Université du Québec à Montréal, Montréal
(Québec), Canada H2X 1Y4*

Phone : +1-514-987-3000 4799#

Fax : +1-514-987-4647

gagnon.marie-eve.9@courrier.uqam.ca

Geneviève Labrie

*Centre de recherche sur les grains, Saint-Mathieu-de-Beloeil (Québec), Canada J3G
0E2*

Eric Lucas

*Laboratoire de Lutte Biologique, Université du Québec à Montréal, Montréal
(Québec), Canada H2X 1Y4*

1.1 Abstract

The establishment in 2001 of a new invasive pest from Europe, the pollen beetle (*Brassicogethes viridescens* (Fabricius), Coleoptera : Nitidulidae), could have strong impacts on the production of canola in Quebec and Canada. Little information is available in regards of this pest's natural enemies in the Nearctic region. The main objective of this study was to evaluate the potential of natural enemies to control the populations of the pollen beetle. Voracity tests were conducted on pollen beetle larvae with three coccinellid and three carabid species common in canola fields. Ten pollen beetle larvae were placed in Petri dishes and provided to predators during 24h. The effect of pollen beetle burial in the soil on carabid predation was also evaluated. Results confirmed that *Coleomegilla maculata lengi* was more voracious than *Coccinella septempunctata* and *Propylea quatuordecimpunctata*. Also, there was more predation by *Pterostichus melanarius* and *Harpalus rufipes* than *Clivina fossor* on larvae on the surface. These results confirmed the potential of predation by some aerial and ground dwelling predators observed in North America. Field experiments on the real impact of this predation will be conducted.

Key words: Pollen beetle, canola, natural enemies, coccinellids, carabids.

1.2 Résumé

L'établissement en 2001 d'un nouveau ravageur venu d'Europe, le méligèthe des crucifères (*Brassicogethes viridescens* (Fabricius), Coleoptera : Nitidulidae), peut avoir d'importants impacts sur la production du canola au Québec. Peu d'informations sont actuellement disponibles quant à ses ennemis naturels dans la région néarctique. L'objectif de la présente étude est d'évaluer l'impact des ennemis naturels sur les populations du méligèthe des crucifères dans le but de déterminer leur potentiel de contrôle. Des tests de voracité ont été effectués sur des larves de méligèthe avec trois espèces de coccinelles et trois espèces de carabes communes en champs de canola. Dix larves de méligèthe furent placées dans des plats de Petri avec un prédateur durant 24h. L'effet de l'enfouissement des larves dans le sol sur la prédation par les carabes fut également évalué. Les résultats confirment que la coccinelle maculée, *Coleomegilla maculata lengi*, est plus vorace que *Coccinella septempunctata* et *Propylea quatuordecimpunctata*. De plus, la prédation était plus élevée par *Pterostichus melanarius* et *Harpalus rufipes* que par *Clivina fossor* sur les larves de méligèthe en surface. La prédation était drastiquement réduite lorsque les larves de méligèthe étaient enfouies. Ces résultats confirment le potentiel de prédation par certains prédateurs aériens et terricoles observés en Amérique du Nord.

Mots clés : Méligèthe des crucifères, canola, ennemis naturels, coccinelles, carabes.

1.3 Introduction

In Canada, canola constitutes 22% of the country's cultivated areas (Statistique Canada, 2016) and contributes for 19,3 billions of dollars per year to the Canadian economy (Lumpur, 2013). Furthermore, 85% of the canola production is exported (Lumpur, 2013). In 1947, the pollen beetle (*Brassicogethes viridescens* (Fabricius), Coleoptera : Nitidulidae), an invasive pest of canola from Europe, was observed for the first time in North America, in Nova Scotia, Canada (Hoebeke and Wheeler, 1996). It was observed in 1993 on the coast of Maine in the United States. By 1995, it had spread to Nova Scotia and Prince-Edward-Island (Hoebeke and Wheeler, 1996). It was found in Saint-Hyacinthe, Quebec, in 2001 and it is currently found in most of the province (Mason *et al.*, 2003). The establishment of a new invasive pest of canola crops such as the pollen beetle could have important impacts on field yields for Canadian farmers. In Europe, it can cause up to 70% yield loss in canola crops (Nilsson, 1987). The expansion of canola crops could be at risk, and this could lead to increased uses of insecticides and to important environmental impacts.

Pollen beetle females typically lay 2 or 3 eggs per canola flower bud for a maximum of 300 eggs per female (Hoebeke and Wheeler, 1996). The larvae hatch from the eggs in July and feed on the stamens, causing the loss of the flower buds. The larvae themselves develop within the flowers, feeding on pollen until they reach 5 millimetres and are ready to pupate. They drop to the ground and bury in the soil to a depth of 2 cm. After a little more than two weeks, the adults emerge (Hoebeke and Wheeler, 1996). The adults hibernate in winter and the insect has one generation per year.

Natural enemies of the pollen beetle in Europe include 42 carabid species (Hokkanen, 2008; Williams *et al.*, 2010). Carabidae present in canola fields throughout Canada have been identified (Hummel *et al.*, 2012; Labrie *et al.*, 2013), but their predation

potential on pollen beetles has not been evaluated. Furthermore, very little information is available regarding predation on pollen beetle larvae by other natural enemies such as ladybirds. A first step to design an integrated pest management strategy is to evaluate the invasion potential and success of the pollen beetle in Canada by identifying its natural enemies. Pollen beetles spend about a month within the canopy: 4-7 days as eggs and up to 21 days as larvae (Hoebeke and Wheeler, 1996), which makes them available as prey, especially first instar larvae. The final instar larvae are then available to ground dwelling predators as they bury in the soil within 8,5 minutes (Warner, 2001) and stay underground for about 2 weeks.

This study's main objective was to evaluate the potential of three species of ladybirds and three species of carabids in eastern Canadian canola fields as natural control agents of the pollen beetle. We evaluated (1) which potential predators co-occur in the field with pollen beetle larvae; (2) the voracity of three ladybird and three ground dwelling carabid species of Quebec on pollen beetle larvae and (3) the impact of the larval burying behaviour on predation efficacy.

1.4 Methods

1.4.1 Insect material

1.4.1.1 Identification of predators in Quebec canola fields

In a study conducted in 2009 and 2010, 41 and 30 fields, respectively, were sampled to determine the entomofauna associated with canola flowers. Two yellow sticky traps per field were installed from cotyledons to flowering period, and changed 3 times. Also, in 2009, 25 sweeps of sweep net were done once a week in each field from stem elongation to flowering. In 2010, 10 sweeps of sweep net were done at 2 locations in each field between the flower bud stage and the end of flowering. In order to characterize carabid populations that co-occur with the pest in the field and compare with the known predators in Europe, pitfall traps were positioned in a canola plot in Saint-Mathieu-de-Beloeil (Quebec, Canada; 45°59'N, 73°25'W). Four traps

separated by 6 meters were active from August 7th to 14th of 2015. Each trap consisted of a 1L plastic container filled with approximately 200ml of propylene glycol diluted with water (1:1) to retain and preserve the catch. Traps were sunk into the soil so that the rims were leveled with the surface and protected by a plastic cover to avoid flooding by rain and to limit the access to small mammals. Collected carabids were kept in 70% ethyl alcohol until identification to species. The most abundant species of Coccinellidae were *Coleomegilla maculata lengi* (twelve-spotted ladybird, Timberlake, 1943), *Coccinella septempunctata* (seven-spotted ladybird, Linnaeus, 1758) and *Propylea quatuordecimpunctata* (fourteen-spotted ladybird, Linnaeus, 1758) and the most abundant species of carabids were *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798) and *Harpalus rufipes* (DeGeer, 1774), which are known predators of the pollen beetle in Europe (Williams *et al.*, 2010) (see Tables 1 and 2).

1.4.1.2 Collection of insects for laboratory experiments

On canola flowers, the three most common ladybird species cited above have been selected to determine their voracity on first stage larvae of the pollen beetle. *Coleomegilla maculata lengi* adults were taken from a hibernation site in Carignan (Quebec, Canada; 45°39'N, 73°26'W). Wild adults of *C. septempunctata* and *P. quatuordecimpunctata* were collected from a varied array of sample sites in Montreal and Saint-Mathieu-de-Beloeil (Quebec, Canada; 45°56'N, 73°54'W; 45°59'N, 73°25'W) using sweep net sampling. All of the ladybird adults were collected at approximately the same time they co-occur with the pest in canola fields. The selected species were sexed (Stellwag and Losey, 2014) and kept at 4°C with pollen to feed on until the tests.

To determine the voracity of selected predators on second instar larvae, the focus will be on three carabid species with known predation potential in Europe: the two most common species *Harpalus rufipes* (DeGeer, 1774) and *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798) and *Clivina fossor* (Linnaeus, 1758). *Clivina fossor* is a digging

species present beneath the soil of canola crops and therefore an interesting potential predator. The voracity of the three carabid species on the larvae buried in the soil will also be determined. All three of them are known to be omnivorous and to feed on pollen beetles in Europe (Williams *et al.*, 2010). Six dry pitfall traps were used to collect live carabids from the field in Saint-Mathieu-de-Beloeil (Quebec, Canada; 45°59'N, 73°25'W). Each trap consisted of a 1L plastic container, provisioned with rocks (Vankosky *et al.*, 2011). Traps were emptied twice a week from May to August 2015. The two most abundant species *P. melanarius* and *H. rufipes* were collected live and kept in separate rearing recipients containing organic soil and carrots for nutrition at 4°C. Since *C. fossor* is mainly found beneath the ground and cannot be trapped with pitfall traps, it was collected by soil samples taken in random plots in Saint-Mathieu-de-Beloeil (Quebec, Canada; 45°59'N, 73°25'W) and placed in Berlese funnels to collect live individuals.

In 2014 and 2015, wild pollen beetles were collected from field sites. Sweep net samples from one canola field in St-Lambert-de-Lauzon and two fields from Saint-Raymond (Quebec, Canada; 45°69'N, 72°44'W; 46°60'N, 71°24'W; 46°90'N, 71°89'W) were collected and sorted out to keep only pollen beetle larvae, which were then frozen at -18°C. The tests were conducted with thawed larvae for practical reasons and preliminary tests showed no difference in carabids and ladybirds voracity on live and frozen larvae.

1.4.2 Ladybird voracity

The voracity of adults of three ladybird species has been evaluated on first instar thawed pollen beetle larvae. *Coccinella septempunctata* and *P. quatuordecimpunctata* were tested with 17 replicates for each species and *C. maculata lengi* with 20 replicates (*P. quatuordecimpunctata*: $n_{\text{males}}=11$, $n_{\text{females}}=6$; *C. septempunctata*: $n_{\text{males}}=5$, $n_{\text{females}}=12$; *C. maculata lengi*: $n_{\text{males}}=10$, $n_{\text{females}}=10$). The adults were starved 24 hours before the experiments. One adult ladybird was then placed in a

Petri dish (9 cm x1 cm) containing 10 first instar pollen beetle larvae. The Petri dish was examined after 24 hours and the total number of larvae remaining was noted.

1.4.3 Carabids voracity and impact of burial on terricolous predation

To evaluate the voracity of predators on second instar larvae that drop to the soil to pupate, laboratory tests have been conducted during the summer of 2015. Three ground dwelling species of the Carabidae (Coleoptera) family have been evaluated: *C. fossor* (Subfamily: Scaritinae), *P. melanarius* and *H. rufipes* (Subfamily: Harpalinae). An adult carabid was introduced in a Ziploc® box with 5 centimeters of soil and 20 second instar pollen beetle larvae. To make sure we could find the remaining larvae from the soil after the experiments, these were frozen and coloured with fluorescent powder (DayGlo™ Color Corp.) prior to the tests. An hour before the test, the larvae were kept at room temperature for defrosting. Carabids were starved for a period of 24 hours. After 24 hours, the total number of remaining and attacked larvae was noted. Pretests determined no significant difference caused by the use of freezing and fluorescent powder ($p=0,2475$).

In order to evaluate the impact of burial by the pollen beetle larvae on predation, a test was conducted in the field. Eight Petri dishes containing each 10 frozen and coloured pollen beetle larvae were placed in a canola plot in Saint-Mathieu-de-Beloeil (Quebec, Canada). In 4 of the Petri dishes, the larvae were placed at the bottom and covered with soil. For the other 4 Petri dishes, the larvae were placed at the surface of the soil. The Petri dishes were carefully placed at the soil level and were left for 24 hours. The trial was repeated each 24 hours for 6 consecutive days and the soil of the Petri dishes was sorted each 24 hours to find the remaining larvae, and the predation above and below ground could be noted.

1.4.4 Statistical analysis

The mean number of pollen beetle larvae predated by the ladybirds was calculated based on the number of larvae remaining after the test. The larvae that were attacked (*i.e.* those that showed damage) were considered predated as well. The data from this experiment was analyzed with a one-way analysis of variance to determine which ladybird species was more voracious. The predation rates from the experiments with the carabids were calculated using the mean number of larvae eaten during the tests, for each species based on larval burial. The results were then analyzed using a two-way analysis of variance for the difference between species, followed by a post-hoc HSD-Tukey test for multiple comparisons. For the field trials, the number of remaining pollen beetle larvae allowed to calculate the mean number of larvae predated according to burial. The analysis of larval burying in the field was done using a one-way analysis of variance. All analysis were done with the software JMP® (version 12.1.0 ©SAS Institute Inc.), and level of significance was defined at $P < 0.05$.

1.5 Results

1.5.1 Co-occurrence of predators

Throughout two years of sampling with yellow sticky-traps and sweep nets, we collected most of the canola canopy predators that co-occur with the first instar larvae of the pollen beetle. As ladybirds are known to be highly voracious and contribute to biological control of numerous pest species (Michaud, 2012), they were selected as canopy predators of the pollen beetle larvae. A total of 1604 adults were collected. Results show that the three most abundant species in canola fields were *Coleomegilla maculata lengi* (Timberlake, 1943), *Coccinella septempunctata* (Linnaeus, 1758) and *Propylea quatuordecimpunctata* (Linnaeus, 1758) (table 1.1). This determined the species to use in voracity tests.

Table 1.1 Total Coccinellidae captured in yellow sticky-traps (ST) and collected by sweep net (SN) from Quebec's canola field in 2009 and 2010.

		ST	SN	Total
Coccinellinae	<i>Coleomegilla maculata lengi</i> (Timberlake, 1943)	531	105	636
	<i>Propylea quatuordecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758)	472	11	483
	<i>Coccinella septempunctata</i> (Linnaeus, 1758)	167	14	181
	<i>Coccinella trifasciata perplexa</i> (Muslant, 1850)	25	0	25
	<i>Harmonia axyridis</i> (Pallas, 1773)	128	15	143
	<i>Hippodamia tredecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758)	37	0	37
	<i>Hippodamia convergens</i> (Guerin, 1842)	3	3	6
	<i>Hippodamia parenthesis</i> (Say, 1824)	5	0	5
	<i>Hippodamia variegata</i> (Goeze, 1777)	4	1	5
	<i>Psyllobora vigintimaculata</i> (Say, 1824)	48	0	48
	<i>Anatis mali</i> (Say, 1825)	1	0	1
	<i>Mulsantina hudsonica</i> (Casey, 1899)	1	0	1
Chilocorinae	<i>Chilocorus stigma</i> (Say, 1835)	15	2	17
Scymninae	<i>Brachiacantha ursina</i> (Fabricius, 1787)	9	0	9
	<i>Hyperaspis undulata</i> (Say, 1824)	6	0	6
	<i>Hyperaspis bigeminata</i> (Randall, 1838)	1	0	1

Also, we found the carabids using pitfall traps and soil samples, which collected 438 carabids during a period of 7 days. Several european carabid predators co-occur with the pest here and were the most abundant in the field and were then selected for the laboratory experiments. *Harpalus rufipes*, *P. melanarius* and *C. fossor* were the three most abundant species (table 1.2).

Table 1.2 Carabidae found in pitfall traps (Harpalinae) and soil samples (Scaritinae) during sampling in 2015. Four pitfall traps were installed for seven days and twelve soil samples were taken at CEROM research center in Saint-Mathieu-de-Beloeil (Quebec, Canada)

		Total
Harpalinae	<i>Pterostichus melanarius</i> (Illiger, 1798)	152
	<i>Harpalus rufipes</i> (DeGeer, 1774)	248
	<i>Harpalus compar</i> (LeConte, 1948)	4
	<i>Harpalus pensylvanicus</i> (DeGeer, 1774)	1
	<i>Amara</i> spp.	2
Scaritinae	<i>Clivina fossor</i> (Linnaeus, 1758)	31

1.5.2 Ladybird voracity

A mean of 2,63, 1,58 and 0,22 pollen beetle larvae per 24 hours were consumed by *C. maculata lengi*, *C. septempunctata* and *P. quatuordecimpunctata* adults respectively. The twelve-spotted ladybird consumed significantly more larvae than the seven-spotted ladybird and the fourteen-spotted ladybird ($F_{2,65} = 17,07$; $P < 0,05$; figure 1.1). There was no significant difference between males and females voracity of the three species (*P. quatuordecimpunctata*: $n_{\text{males}}=12$, $n_{\text{females}}=12$, $P > 0,05$; *C. septempunctata*: $n_{\text{males}}=12$, $n_{\text{females}}=12$, $P > 0,05$; *C. maculata lengi*: $n_{\text{males}}=10$, $n_{\text{females}}=10$, $P > 0,05$; figure 1.1). There was one pollen beetle larva attacked, but not completely consumed, by each of the ladybird species.

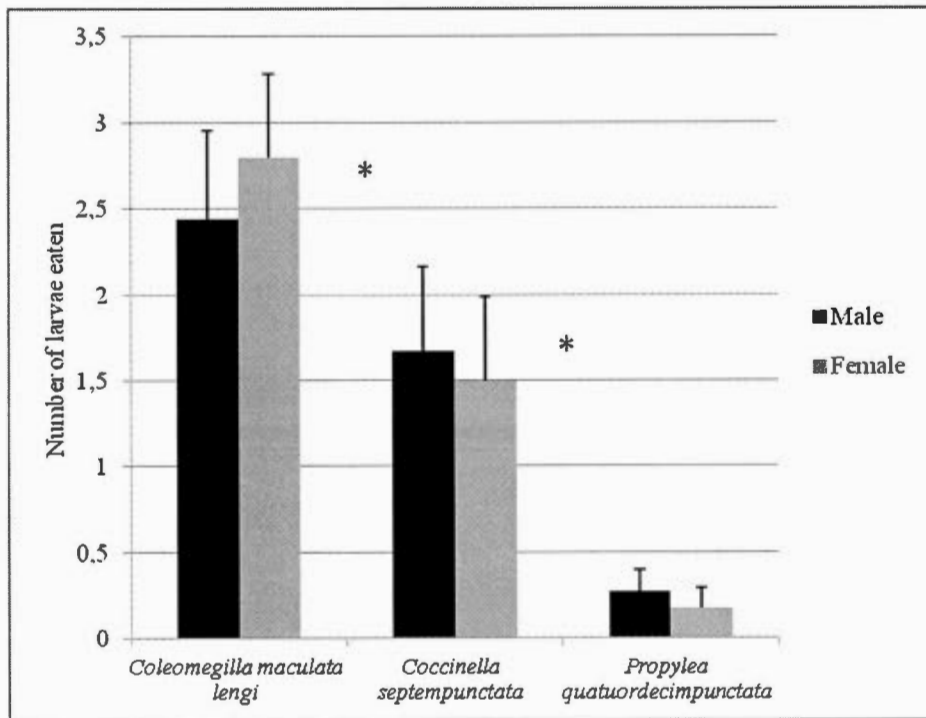


Figure 1.1 Voracity of male or female adult Coccinellidae on *Brassicogethes viridescens* larvae during 24 hours. Each result is represented by the mean number of larvae eaten by one individual (\pm SE). * represent significant differences between coccinellids species ($P < 0,05$). Statistical factors for this test are shown in table 1.3.

Table 1.3 Statistical factors of the one-way analysis of variance conducted on the results from the voracity tests of male and female adults Coccinellidae on *Brassicogethes viridescens* larvae during 24 hours.

Source	DF	F Ratio	Prob. > F
Species	2	17.0738	<.0001*
Sex	1	0.0069	0.9339
Interaction	2	0.2319	0.7937
Total	65	7.0004	<.0001*

1.5.3 Carabids voracity and impact of burial on predation

On soil surface, a mean of 1,42, 12,10 and 18,70 larvae were consumed by *C. fossor*, *H. rufipes* and *P. melanarius* respectively. *Pterostichus melanarius* consumed significantly more larvae than *H. rufipes* and *C. fossor* ($F_{2,83}= 73.42$; $P < 0,001$; figure 1.2). Larvae burial reduces significantly predation by the three carabid species ($F_{1,83}= 145.37$; $P<0,0001$). A mean of $9,96 \pm 0,04$ larvae per 24 hours were eaten at the surface compared to $1,67 \pm 0,39$ buried. There was no difference in the consumption of buried larvae between the three carabid species. However, *P. melanarius* and *H. rufipes* consumed significantly more larvae at the surface than buried (figure 1.2).

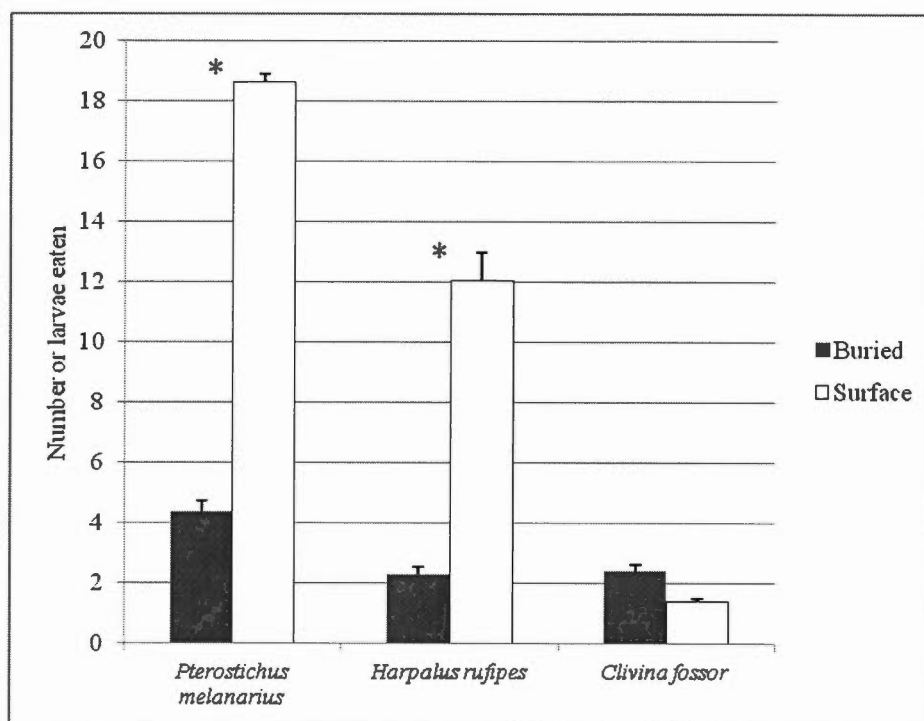


Figure 1.2 Impact of larval burying on the predation of second instar pollen beetle larvae by three carabid species. Mean number of larvae eaten for each species (\pm SE). * = $P<0,05$; n_{buried} : *C. fossor*= 12, *H. rufipes*= 15, *P. melanarius*= 15; n_{surface} :

C. fossor= 12, *H. rufipes*= 15, *P. melanarius*= 15. Statistical factors for this test are shown in table 1.4.

Table 1.4 Statistical factors of the two-way analysis of variance conducted on the results of the tests of the impact of larval burying on the predation of second instar pollen beetle larvae by three carabid species

Source	DF	F Ratio	Prob. > F
Species	2	73.4198	<.0001*
Burial	1	145.3666	<.0001*
Interaction	2	47.7117	<.0001*
Total	83	82.7878	<.0001*

1.6 Discussion

This study confirms that pollen beetle larvae are susceptible to predation both by canopy and terricolous nearctic predators, and that some predation could occur on pupa once buried in the soil. We tested ladybirds as predators present in the canopy, where the larvae of the pollen beetle develop, and terricolous carabids that could feed on pupating larvae on or in the soil. The ladybirds voracity vary among the species and these predators spend a lot of time in contact with the first instar larvae of the pollen beetle. On the other hand, the effect of the pests larval burying diminishes strongly the voracity of carabids. Pollen beetles spend 12% of their life cycle as pupae beneath the soil. This lack of vulnerability does not bode well for biocontrol purposes.

1.6.1 Predation on canopy

Pollen beetles spend about a month within the canopy: 4-7 days as eggs and up to 21 days as larvae (Hoebeke and Wheeler, 1996). Canola crops carry the most diverse fauna of ladybirds among all field crops of Quebec (Labrie *et al.*, 2012). In 2009, 12 species have been observed in numerous canola fields, including the twelve-spotted, the seven-spotted and the fourteen-spotted ladybirds (Labrie *et al.*, 2012). Although coccinellids can have a varied array of accepted food and can be considered polyphagous, most ladybirds are specialists as far as nutritionally suitable food is

concerned (Hodek and Evans, 2012). However, they need essential food to ensure immature stage development and adult reproduction, but also alternative food to maintain survival (Hodek *et al.*, 1978). The first instar larvae of pollen beetles are possibly protected within the flower thus, representing a less valuable food resource than other available prey. Like Clark and Messina (1998) mentioned, the architecture of the host plant can greatly affect natural enemies effectiveness.

Kurppa (1989) suggests that *C. septempunctata* can have a predation potential on pollen beetle larvae when they fly from cereal to canola crops following the aphid populations. One of the first records of host-prey relationships in oilseed rape was one of ladybirds consuming pollen beetle larvae within the flower stands (Friedrichs, 1920). The three ladybirds used in our study are known to have an aphidophagous prey relationship (Hodek and Evans, 2012). *Coleomegilla maculata lengi* has been cited as a widely polyphagous species and is known for its pollinivory on corn pollen, which appears to be an essential food for this species (Hodek and Evans, 2012). *Propylea quatuordecimpunctata* was also found to be polyphagous due to its relation to non-insect food (Hodek and Evans, 2012). Even if it is not their preferred prey, we observed predation on first stage pollen beetle larvae in the laboratory. Results from the experiments demonstrate a higher voracity by *C. maculata lengi* than *C. septempunctata* and *P. quatuordecimpunctata*. A mean of 2,63 pollen beetle larvae were eaten by *C. maculata lengi* in 24 hours. The acceptance of this food source could be part of an answer to determine potential predators of the pollen beetle, but the quantities eaten are very low. Our experiment shows that predation by ladybirds during flowering period could possibly not be very effective and efficient to reduce pollen beetle population, as they ate a mean of 1,48 pollen beetle in 24 hours and that many other preys could be present and preferred by coccinellids.

1.6.2 Predation on the ground

Once fallen to the ground, pollen beetle larvae bury themselves within 8,5 minutes (Warner, 2001) and stay underground for about 2 weeks to pupate, which means they spend about 12% of their life cycle sessile. Like ladybirds, ground beetles are generalists and represent the most important group of ground-dwelling arthropods in crops (Büchs and Alford, 2003; Williams *et al.*, 2010). The persistence of ground beetles in canola fields throughout the season could ensure consistent predation pressures on the pollen beetle larvae dropping to the ground to pupate. The time period over which carabids can prey on pollen beetle larvae largely affects their predation efficiency. Thus, our results show that if ground beetles have unlimited access to pollen beetle larvae above ground, predation can be considerable. As our results demonstrate, *P. melanarius* ate 93,5% of the larvae on the surface. On the other hand, when larvae are buried, the mortality is far less considering epigaeic predators having restricted access to the prey. Goltermann (1994) pointed out that larval dropping can occur at any time of the day, making them available to both nocturnal and diurnal ground-dwelling predators. Overall, the results from our experiments show that burial provides significant protection against predation for the pollen beetle larvae. Voracity on larvae on the surface was more important than on the ones buried. However, there is a restraint for biological purposes since larvae do not spend that much time on the surface.

Even though *P. melanarius* and *H. rufipes* are known to dig for prey (Williams *et al.*, 2010), we saw no evidence of an effective search for pollen beetle larvae underground. *Pterostichus melanarius* is reported to be omnivorous (Laroche and Larivière, 2003; Lucas and Maissonhaute, 2015) and was the most voracious of the carabids tested in the current study. As for *C. fossor*, which is specifically known as a digging beetle (Forsythe, 2000), it is not more voracious than the other tested carabids. Nonetheless, *C. fossor* is the only species not losing efficacy when the

larvae are burried: *P. melanarius* loses 71,5% and *H. rufipes* loses 48,5%. However in laboratory tests using *M. aeneus* pupating larvae, Scherney (1959) observed that *C. fossor* killed up to 65% of the pollen beetle larvae at 60 mm into the soil, whereas *B. viridescens* is known to burrow down to 20 mm (Hoebeke and Wheeler, 1996).

A strong size difference is observed between the three tested carabids. Ulber (1997) observed that larger species, such as *H. rufipes* and *P. melanarius*, tend to consume only larvae on the surface, but that smaller species, such as *C. fossor*, followed larvae into the soil. Goltermann (1994) supports this idea by showing that ground beetles feeding rates increase with size, as long as preys are accessible, in this case on the surface. This relation should become inverted when the larvae burry in the soil, because smaller beetles tend to dig into the ground and thus have advantage in finding their prey (Goltermann, 1994).

Biocontrol using ground beetles is not often considered because rearing them on a large scale is expensive (Warner, 2001). Naturally enhancing carabid bio-control by managing and preserving populations would be a more realistic way to increase their predation potential against canola pests (Kromp, 1999; Menalled *et al.*, 2007).

In Europe, parasitoids are considered the most effective pest control agents against the pollen beetle. Because no parasitoids have been so far observed in *B. viridescens* collected in Eastern North America, it is assumed that some level of natural control is currently exerted by predators and, to some extent, by pathogens. It is unlikely that strong pests regulation can be achieved by carabids and ladybirds alone. Finally, voracity on the eggs of *B. viridescens* on the plant has to be evaluated, and of course thorough field assessments according to different pest's density have to be conducted.

1.7 Acknowledgements

We would like to thank Michel Brouillard and Simon-Pierre Tchang for assistance in field sampling and lab work, and all the members of the laboratories of biological control of UQAM and CEROM. Our acknowledgements also go to the farmers involved in this project. Funding was provided by Agriculture and Agri-Food Canada, CÉROM and the Ministère d'Agriculture, de Pêcheries et d'Alimentation du Québec (MAPAQ).

1.8 References

- Büchs, W. and Alford, D. V. (2003) Predators of Oilseed Rape Pests, in: *Biocontrol of Oilseed Rape Pests*. pp. 181–200.
- Clark, T. L. and Messina, F. J. (1998) Plant architecture and the foraging success of ladybird beetles attacking the Russian wheat aphid, *Entomol. Exp. Appl.*, 86, pp. 153–161.
- Forsythe, T. G. (2000) Ground Beetles. 2nd ed. Richmond Publishing.
- Friedrichs, K. (1920) Untersuchungen über den Rapsglanzkäfer in Mecklenburg, *Zeitschrift Für Angewandte Entomologie*, 7, pp. 1–36.
- Goltermann, S. (1994) Das Auftreten von Laufkäfern (Col., Carabidae) auf Winterrapsfeldern und deren Einfluß auf Carabid-pest-interactions in oilseed rape den Massenwechsel von *Meligethes aeneus* (Col., Nitidulidae). PhD thesis, University of Rostock, Rostock, Germany.
- Hodek, I. and Evans, E. W. (2012) Food Relationships, in: Hodek, I., van Emden, H. F., and Honek, A. (eds.) *Ecology and Behaviour of the Ladybird Beetles (Coccinellidae)*. Blackwell Publishing Ltd, pp. 141–274.
- Hodek, I., Ruzicka, Z. and Hodková, M. (1978) Pollinivorie et aphidiphagie chez *Coleomegilla maculata*, *Annales de Zoologie- Ecologie Animale*, 10, pp. 453–459.
- Hoebeker, E. R. and Wheeler, J. A. G. (1996) *Meligethes viridescens* (F.) (Coleoptera: Nitidulidae) in Maine, Nova Scotia, and Prince Edward Island: Diagnosis,

distribution, and bionomics of a palearctic species new to North America, *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 98, pp. 221–227.

Hokkanen, H. M. T. (2008) Biological control methods of pest insects in oilseed rape, *EPPO Bulletin*, 38 (1), pp. 104–109. DOI:10.1111/j.1365-2338.2008.01191.x.

Hummel, J. D., Dosdall, L. M., Clayton, G. W., Harker, K. N. and O'Donovan, J. T. (2012) Ground Beetle (Coleoptera: Carabidae) Diversity, Activity Density, and Community Structure in a Diversified Agroecosystem, *Environmental Entomology*, 41 (1), pp. 72–80. DOI:10.1603/EN11072.

Kromp, B. (1999) Carabid beetles in sustainable agriculture: A review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74, pp. 187–228. DOI:10.1016/S0167-8809(99)00037-7.

Labrie, G., Mason, P., Vincent, C. and Broadbent, B. A. (2013) Natural enemies of pollen beetle *Brassicogethes viridescens* (Coleoptera : Nitidulidae) in Québec and Ontario, in: *Canadian Entomology Society*.

Labrie, G., Vanasse, A., Rioux, S. and Pageau, D. (2012) Incidence des ravageurs et maladies du canola au Québec et effet des pratiques culturales et phytosanitaires. *Programme de soutien à l'innovation en agroalimentaire: Rapport final*.

Larochelle, A. and Larivière, M.-C. (2003) A natural history of the ground-beetles (Coleoptera: Carabidae) of America north of Mexico, *Pensoft Series Faunistica*, 27, pp. 1–584.

Lucas, É. and Maisonhaute, J.-É. (2015) Differential responses of granivorous, omnivorous and carnivorous species of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) to local and landscape characteristics in a Canadian landscape, *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, 79, pp. 83–94.

Lumpur, K. (2013) The Economic Impact of Canola on the Canadian Economy Report for : Canola Council of Canada Winnipeg , Canada Research and analysis to inform your business decisions, *Canola Council of Canada*.

Mason, P. G., Olfert, O., Sluchinski, L., Weiss, R. M., Boudreault, C., Grossrieder, M. and Kuhlmann, U. (2003) Actual and potential distribution of an invasive canola pest, *Meligethes viridescens* (Coleoptera: Nitidulidae), in Canada, *The Canadian Entomologist*, 135, pp. 405–413. DOI:10.4039/n02-046.

Menalled, F. D., Smith, R. G., Dauer, J. T. and Fox, T. B. (2007) Impact of agricultural management on carabid communities and weed seed predation,

Agriculture, Ecosystems and Environment, 118 (1–4), pp. 49–54.
DOI:10.1016/j.agee.2006.04.011.

Michaud, J. P. (2012) Coccinellids in Biological Control, in: Hodek, I., van Emden, H. F., and Honek, A. (eds.) *Ecology and Behaviour of the Ladybird Beetles (Coccinellidae)*. Blackwell Publishing Ltd, pp. 488–519.

Nilsson, C. (1987) Yield losses in summer rape caused by pollen beetle (*Meligethes aeneus*), *Swedish Journal of Agricultural Research*, 17 (3), pp. 105–111.

Scherney, F. (1959) Unsere Laufkäfer, ihre Biologie und wirtschaftliche Bedeutung., *Verlag A. Ziemsen, Wittenberg Lutherstadt*, pp. 79.

Statistique Canada (2016) Tableau 001-0010 - Estimation de la superficie, du rendement, de la production et du prix moyen à la ferme des principales grandes cultures, en unités métriques, annuel, *CANSIM (base de données)*. Available from: <http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26?lang=fra&retrLang=fra&id=0010010&pattern=canola&tabMode=dataTable&srchLan=-1&p1=1&p2=50> [Accessed 8 June 2016].

Stellwag, L. and Losey, J. (2014) Dimorphism in North American Coccinellids: Sexing Methods for Species of *Coccinella* L. (Coleoptera: Coccinellidae) and Implications for Conservation Research, *The Coleopterists Bulletin*, 68 (2), pp. 271–281.

Ulber, B. (1997) Some results from the investigations of Wolf-Schwerin on carabid-induced mortality of *Dasineura brassicae* and of Goltermann on carabid predation on *Meligethes aeneus* larvae in northern Germany., *Biocontrol of Oilseed Rape Insect Pests Newsletter*, 4.

Vankosky, M. A., Cárcamo, H. A. and Dosdall, L. M. (2011) Identification of potential natural enemies of the pea leaf weevil, *Sitona lineatus* L. in western Canada, *Journal of Applied Entomology*, 135, pp. 293–301. DOI:10.1111/j.1439-0418.2010.01542.x.

Warner, D. J. (2001) The Potential of Carabidae in the Control of Insect Pests of Winter Oilseed Rape. PhD thesis, University of Hertfordshire, UK.

Williams, I. H., Ferguson, A. W., Kruus, M., Veromann, E. and Warner, D. (2010) Ground Beetles as Predators of Oilseed Rape Pests : Incidence, Spatio-Temporal Distributions and Feeding, in: *Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests*. pp. 115–149.

CHAPITRE II

CHARACTERISATION OF THE GUILD OF THE NEARCTIC NATURAL ENEMIES OF THE POLLEN BEETLE (BRASSICOGETHES VIRIDESCENS, COLEOPTERA:NITIDULIDAE) IN CANOLA FIELDS USING MULTIPLE INFRARED CAMERAS

Marie-Eve Gagnon

*Laboratoire de Lutte Biologique, Université du Québec à Montréal, Montréal
(Québec), Canada H2X 1Y4*

Phone : +1-514-987-3000 4799#

Fax : +1-514-987-4647

gagnon.marie-eve.9@courrier.uqam.ca

Geneviève Labrie

*Centre de recherche sur les grains, Saint-Mathieu-de-Beloeil (Québec), Canada J3G
0E2*

Eric Lucas

*Laboratoire de Lutte Biologique, Université du Québec à Montréal, Montréal
(Québec), Canada H2X 1Y4*

2.1 Abstract

The establishment in 2001 of a new pest from Europe, the pollen beetle (*Brassicogethes viridescens* (Fabricius), Coleoptera : Nitidulidae), can have important impact on canola production in Quebec and Canada. Little information is currently available on its natural enemies in the Nearctic region. The objective of this study was to identify the natural enemies of pollen beetle populations. Pollen beetle larvae develop during the flowering stage of canola and then let themselves fall onto the substrate for pupation. Field observations with infrared cameras were carried out to characterize the guild of natural enemies. In the 1st experiment, eight cameras filmed a canola flower with 3 pollen beetle larvae over a 24 hours period. In the 2nd experiment the cameras continuously filmed ten pollen beetle larvae on the ground over a 24 hours period. Analysis of the videos showed no parasitism nor predation on pollen beetle larvae within the canopy. On the ground, predators identified were ground beetles, sap beetles, ants, birds, centipedes, crickets, and slugs, totalling 15,9% and 24,8% of surface predation in 2014 and 2015 respectively. The behaviour of larvae was also observed and burrowing rates of 70% in 2014 and 73% in 2015 were observed on larvae that did not migrate. The mean burial time was of 8,64 minutes for 2014 and of 26,13 minutes in 2015. Larvae burial was an effective way to be protected against predation.

Key words: Pollen beetle, canola, natural enemies, video monitoring.

2.2 Résumé

L'établissement en 2001 d'un nouveau ravageur venu d'Europe, le méligèthe des crucifères (*Brassicogethes viridescens* (Fabricius), Coleoptera : Nitidulidae), peut avoir d'importants impacts sur la production du canola au Québec et dans le reste du Canada. Peu d'informations sont actuellement disponibles quant à ses ennemis naturels dans la région néarctique. L'objectif de la présente étude est d'identifier les ennemis naturels des populations du méligèthe des crucifères en canola et d'évaluer leur impact dans le but de déterminer leur potentiel de contrôle. Les larves de méligèthe se développent lors de la floraison du canola et se laissent ensuite tomber au sol pour la nymphose. Des observations en champs à l'aide de caméras infrarouges sont effectuées pour caractériser la guildes des ennemis naturels au Québec. Dans une première expérience, huit caméras ont filmé chacune 3 larves de méligèthes dans une fleur de canola en continu durant 24 heures. Ensuite, une seconde expérience a filmé dix larves de méligèthes au sol en continu durant 24 heures. L'analyse des vidéos n'a démontré aucune prédation ni parasitisme dans la canopée. Au sol, les prédateurs identifiés étaient des carabes, staphylins, fourmis, oiseaux, chilopodes, grillons et limaces, totalisant 15,9% et 24,8% de prédation en surface en 2014 et 2015 respectivement. Le comportement des larves fut aussi observé et des taux d'enfouissement de 70% en 2014 et de 73% en 2015 furent observés sur les larves restées devant les caméras. Le temps d'enfouissement moyen était de 8,64 minutes en 2014 et de 26,13 minutes en 2015. L'enfouissement des larves était une stratégie efficace pour se protéger des prédateurs.

Mots clés : Méligèthe des crucifères, canola, ennemis naturels, surveillance par caméras.

2.3 Introduction

The pollen beetle (*Brassicogethes viridescens* (Fabricius), Coleoptera : Nitidulidae) is a new pest in Canada canola crop, which could have important impacts on the production of canola in Quebec and Western Canada. In Europe, this pest can cause up to 70% yield loss in canola fields (Nilsson, 1987). For Canadian farmers, the establishment of this new pest species could have important impacts such as yield loss, increase pesticide use and it could jeopardise the expansion of canola cultivation in Canada. Canola constitutes of 22% of Canada's cultivated areas (Statistique Canada, 2016) and contributes 19,3 billions of dollars per year to the country's economy (Lumpur, 2013). Also, more than 85% of canola production is exported (Lumpur, 2013). *Brassicogethes viridescens* was observed for the first time in North America in 1947, in Nova Scotia, Canada (Hoebeke and Wheeler, 1996). It was observed in 1993 in Maine (United States) and by 1995, it had spread to Nova Scotia and Prince-Edward-Island (Hoebeke and Wheeler, 1996). Observed in Quebec in 2001, it is now established throughout most of the province (Mason *et al.*, 2003).

Female pollen beetle lay their eggs in canola flower buds. It takes 4-7 days for the eggs to hatch, and then larvae feed on the stamens, which causes the loss of the flower bud (Hoebeke and Wheeler, 1996). Larvae feed on pollen, and drop to the ground 21 days later, when they are ready to pupate. Larvae bury themselves within 8,5 minutes on average (Warner, 2001), and stay underground for approximately 2 weeks (Hoebeke and Wheeler, 1996).

Little information is available regarding the natural enemies of the pollen beetle in the Nearctic region (Réseau d'avertissements phytosanitaires (RAP), 2016). In Europe, parasitoids and carabids are efficient control agents (Hokkanen, 2008; Williams *et al.*, 2010). The species of carabids present in canola fields of Canada have been identified (Hummel *et al.*, 2012; Labrie *et al.*, 2013), and some species are now known to prey

upon pollen beetle larvae on the ground surface, such as *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798), *Harpalus rufipes* (DeGeer, 1774) and *Clivina fossor* (Linnaeus, 1758) (Gagnon *et al.*, submitted). However no parasitoids has been found to prey on this pest (Labrie, unpublished results). Also, the natural enemies that occur in the crop's canopy are unknown, although some ladybird species have been observed feeding on first instar pollen beetle larvae, like *Coleomegilla maculata lengi* (twelve-spotted ladybird, Timberlake, 1943) (see chapter I). Still the community of natural enemies and their interactions with the pest is unclear.

Natural enemies provide important ecosystemic services through the biological control of pests and quantifying their environmental impact is a priority. Observation of actual predation and/or parasitism in the field is challenging. Using video monitoring is an efficient way of assessing these impacts (Walton and Grieshop, 2016). Unfortunately, the majority of studies that assess pests predation use settings that do not provide proper and complete information (Grieshop *et al.*, 2012). For example, using the sentinel prey method measures relative predation rates, but does not identify specific predators (Sigsgaard and Jacobsen, 2017; Zou *et al.*, 2017). Direct human observation has a number of limitations and nighttime observations can be difficult. Laboratory feeding assays can also be useful, but cannot replicate field conditions. Video technology can address these problems by providing behavioural data and with the identity of natural enemies that occur directly in the field.

The objective of our study was to quantify the predation of pollen beetle in canola fields and to identify its natural enemies. We used video monitoring to measure predation and to capture the identity of the pollen beetle's natural enemies in the field. This method will also allow to determine the possible factors affecting predation and to understand the interactions that occur directly in the field. The time of the day, temperature, larval burial and the impact of the different crop visitors could influence predation on the pest.

2.4 Methods

2.4.1 Site description

In the summer of 2014, the study area was located in Sainte-Claire (Quebec, Canada; 46°36'N, 70°52'W). A plot of 28 by 32 meters was installed in a canola field of a local producer with a seeding rate of 6 kg/ha in a soil consisting of sandy loam (0-20% clay, 20-65% silt, 40-85% sand). The study area for 2015 was in an experimental canola plot located at the CEROM research center in Saint-Mathieu-de-Beloeil (Quebec, Canada; 45°34'N, 73°12'W). A plot of 28 by 32 meters was sown at a seeding rate of 5 kg/ha in a soil consisting of heavy clay (0-40% sand, 60-100% clay). Fertilizers and herbicide treatments were applied and no insecticide treatment was used in neither of the plots.

2.4.2 Experimental setup

Eight infrared camera kits were used to capture videos during the summers of 2014 and 2015. The setup is shown in figure 2.1. Each kit features one weather protected camera with infrared Light Emitting Diodes (LEDs) illumination and one recording case with power supply material (nanoFlash™ recorder, Convergent Design). 12V DC current powered all cameras through separate cables. The image was controlled using an independent monitor with a wireless control panel (Crestron Mobile application by Crestron Electronics Inc. on iPod touch 4th generation, Apple Inc.) and two Compact Flash memory cards of 16GB were in a 24 hour rotation in each camera.

Wild pollen beetles were collected for the field experiments. Sweep net samples from one canola field in St-Lambert-de-Lauzon (45°69'N, 72°44'W) and two fields from Saint-Raymond-de-Portneuf (46°60'N, 71°24'W and 46°90'N, 71°89'W) were collected and sorted out to keep only pollen beetle larvae, which were then kept at 4°C until the beginning of experiments.

2.4.3 Cameras recording

Cameras recorded during two different larval development stages of the pollen beetle: 1) the first larval development stage in the canola flowers (9-13th of July 2014) and 2) the burying period when larvae drop to the soil to pupate (24-29th July 2014 and 22-28th July 2015).

2.4.3.1 During the canola flowering period, 3 first instar pollen beetle larvae were placed on a single flower in front of a recording camera. This was repeated throughout four days, filming continuously during 24 hours with the eight cameras at different locations each day. The larvae remaining in the flowers after each experiment were dissected under a microscope to observe potential parasitism (eggs or larvae or parasitoids).

2.4.3.2 To simulate larvae dropping to the ground to pupate, 10 second instar pollen beetle larvae were placed in a Petri dish containing soil and buried flush with the soil surface. Each Petri dish was filmed during 24 hours. Each day, a new Petri dish was prepared with new larvae, installed at a new place in the field and filmed during 24h. This set-up was repeated during 5 and 6 days in 2014 and 2015 respectively. The setup was moved each day to avoid pseudoreplication.

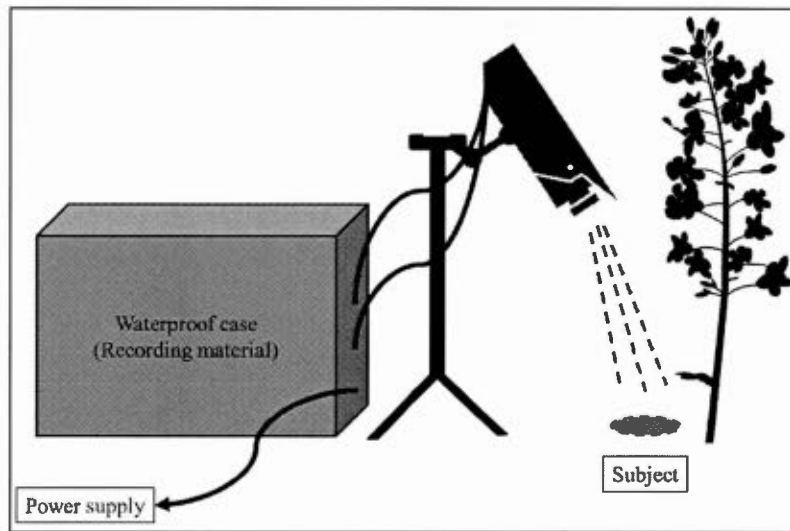


Figure 2.1 Field setup consisted of a waterproof case for weather protection, connected to the camera and wired directly to an energy source.

2.4.4 Video analysis

Video files with poor scientific value due to technical errors or physical obstruction were eliminated. In total, we analyzed 162 hours of video recordings during the flowering period. For the burying period, 240 and 984 hours of video recordings were analyzed in 2014 and 2015 respectively. In 2014, no specific software was used to analyse the videos. Notes of time and behaviour were taken manually while watching each video at 6x fast forward speed. When a potential predator was observed, the playback was paused or slowed to identify the arthropod of interest. In 2015, the software The Observer XT® (Noldus Information Technology, 2012) was used to analyse the videos. All observed individuals were identified in as much detail as possible, some to species level, some to order. Arthropods were recorded if they appeared in the area delimited by the Petri dish, or on the targeted flower.

2.5 Results

2.5.1 Canopy predation and parasitism

None of the 78 pollen beetle larvae placed on the flowers were predated by the 138 observed visitors on the flowers. 80% of the arthropods identified were Dipterans and included members from the Sepsidae, Tabanidae and Anthomyiidae families. 12% of the total visits were pollen beetle adults and the other visitors identified were Hymenoptera and Thysanoptera. Even though predators were present in the canopy, none were video-recorded on the flowers. Also, 40% of the larvae rested in the flowers, but when dissected, none presented parasitoid eggs or larvae.

2.5.2 Ground activity

2.5.2.1 Larvae migration

In 2014 and 2015, 100 and 410 larvae were deposited in front of cameras. Some of the larvae moved from the Petri to the field, but migration stopped approximately 2 hours after the beginning of the experiments. At about 12:30PM, 56% and 33% of the larvae deposited had moved to field, in 2014 and in 2015 respectively (figure 2.2C). Total observations were thus on 44 and 273 larvae for 2014 and 2015 respectively.

2.5.2.2 Larvae burial

Burial was also observed for 70% (2014) and 73% (2015) of the larvae that did not migrate. The mean burial time was 8,64 minutes for 2014 and 26,13 minutes in 2015. By 11:30AM, about 1,5 hours after the experiment started, 31% of the larvae put on the ground were buried in 2014 and 49% in 2015 (figure 2.2C). In 2014, 6% of the larvae that did not migrate stayed on the soil surface, but only 1% in 2015, which makes 6 and 5 larvae for 2014 and 2015 respectively.

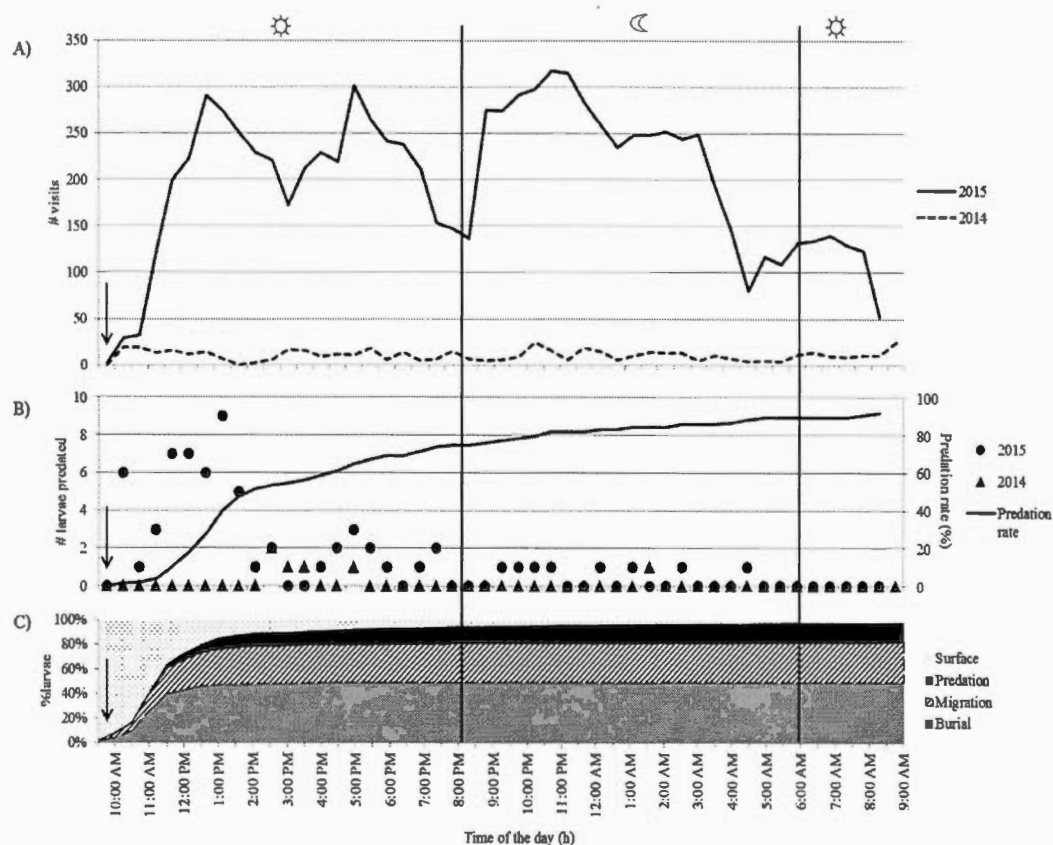


Figure 2.2 Hourly observations captured by video-camera: A) Number of visits monitored; B) Left axis: number of larvae predated by year, right axis: predation rate on available pollen beetle larvae; C) Percentage of larvae by action (surface, predation, migration, burial) in 2015. 10:00 AM was the average time when the larvae were deposited on the ground (indicated by arrow).

2.5.2.3 Observed visits and predations

On all larvae that were video-captured, 7 were predated in 2014 and 67 in 2015, which gives us a predation percentage of 15,9% and 24,8% on observed larvae in both years respectively. The predation rate is presented in figure 2.2B, according to larvae availability. The predators observed were carabids, sap beetles, ants, crickets, centipedes, birds and slugs. Some carabid predators were more precisely identified like *Bembidion* sp. and *Harpalus* sp. and the other coleopteran noted to have eaten a

larvae was *Glischrochilus quadrisignatus* (Say, 1835; Coleoptera: Nitidulidae), the fourspotted sap beetle. The bird species that was a major predator of the pollen beetle was the white-throated sparrow, *Zonotrichia albicollis* (Gmelin, 1789). Table 2.1 shows the detailed number of visits and predations per subject and per year and figure 2.2A shows the time of the day when they occur, along with time concordance of larvae availability (figure 2.2C). The table also demonstrates predation rates per visit, which exposes the impact of each visiting taxa. In 2014, carabids were the most efficient to prey upon pest larvae with a 3,57% predation rate and in 2015, visits from birds were the most efficient with 11,58%. However in total, the predation rates stay low at 1,21% in 2014 and 0,7% in 2015, meaning there were more visits they predation events observed.

Table 2.1 Number of visits (V), predation (P) and predation rate per visit (%) for each identified subject for the two years of video monitoring in the field, totalling 240 hours (2014) and 984 hours (2015) of recordings by infrared cameras

Phylum	Subphylum	Class	Order	Family	2014			2015		
					V	P	%	V	P	%
Mollusca	Conchifera	Gastropoda			87	1	1,15	0	0	0
Arthropoda	Chelicerata	Arachnida	Opiliones		1	0	0	35	0	0
			Araneae		95	0	0	64	0	0
	Myriapoda	Chilopoda			66	1	1,52	324	3	0,93
	Crustacea	Malacostraca	Isopoda		2	0	0	2	0	0
	Hexapoda	Insecta	Orthoptera	Gryllidae	20	1	5	497	2	0,40
			Hemiptera		1	0	0	0	0	0
			Hymenoptera	Formicidae	49	0	0	2845	29	1,02
			Coleoptera	Carabidae	112	4	3,57	3438	21	0,61
				Staphylinidae	88	0	0	127	0	0
				Others	33	0	0	35	1	2,86
			Diptera		N/A	N/A	N/A	2097	0	0
			Lepidoptera		3	0	0	3	0	0
Chordata	Vertebrata	Amphibia	Anura		2	0	0	0	0	0
		Aves			4	0	0	95	11	11,58
		Mammalia			6	0	0	67	0	0

Unknown	9	0	0	7	0	0
Total	578	7	1,21	9636	67	0,7

Other coleopterans= beetles from the Nitidulidae, Chrysomelidae, Cantharidae, Lampyridae, Elateridae, Coccinellidae and Curculionidae families.

Unknown= referred to as the ones that were not identifiable.

N/A= subjects were not accounted for in that year.

2.6 Discussion

Between 15,9% and 24,8% of the pollen beetle larvae observed were predated on the soil in Quebec canola fields. Burial was the main factor protecting larvae from predation. Mean burial time varied between 8,64 and 26,13 minutes, depending of soil texture. No predation on buried larvae was observed. The use of video-cameras in the field demonstrated that unexpected predators, such as ants, slugs and birds, may be important for natural control and/or the development of integrated pest management strategies against this pest.

2.6.1 Predation

As revealed by video-monitoring in the canopy, the larvae tended to stay hidden within the canola flowers, thus protected from visiting predators. No parasitism and no predation were observed in this part of the study. It appears that natural enemies could not have a significant impact during the canopy stage of the pollen beetle. There were also technical issues when filming in the canopy: the stability of the flower in front of the camera and the lack of focus on the larvae when it moved around in the flower. This is why the experiment was not reconducted in 2015. However, the data collected for pollen beetle larvae on the ground showed details on the predation occurring on the pest. This study determined that larvae were preyed upon mainly during the first hours of the experiments, while on the ground surface. Predation rates vary between 15,9% and 24,8% for pollen beetle larvae that were on the ground. It is the first time that such information is available from the field in the Nearctic region. A previous study (see chapter I) cited that 99,6% of pollen beetle

larvae that were immobilized in a petri dish filled to ground level with soil surface in the field were eaten in 24 hours. The same study observed laboratory predation rates of 93,5%, 60,5% and 7,1% by carabids *P. melanarius*, *H. rufipes* and *C. fossor* on the pest larvae, that were immobilized and placed in soil filled arenas. Another study conducted in Europe observed a mean of 20 pollen beetle larvae eaten per individual in 2 hours by seven different carabid species (Warner, 2001).

We also determined predation rates by visit, and total rates of 1,21% in 2014 and 0,7% in 2015 were calculated. This means that most of the visitors did not eat pollen beetle larvae. Birds were the most efficient predators with a 11,58% predation rate, explained by the fact that they ate more than one pest per visit. Carabids were the second most efficient with a rate of 3,57%, as they are known to be voracious generalists predators (Kromp, 1999).

2.6.2 Burial

Our burial experiment, provided original information on pollen beetle larvae behaviour for the Nearctic region. Larvae averaged burial times of 8,64 minutes and 26,13 minutes in 2014 and in 2015 respectively. This time difference can be explained by the different types of soil in which the experiments were conducted in both years. Larval burial should be easier in sandy (2014) than in clay soil (2015) (Barbercheck, 1992); or in wet soil than dry ones. Also, it is possible that the larvae select a specific period to drop on the soil, which was not the case in the trial. Experiments started approximately at the time larvae were ready to bury and pupate, but it is possible that some will have pupated later than expected. Pollen beetle larvae drop at any time of the day, making them potentially available to both diurnal and nocturnal ground dwelling predators (Goltermann, 1994). This information is important considering that the burial time defines the temporal window when the pests larvae are most vulnerable to ground dwelling predators. However, further study of the factors inducing pupation and dropping to the ground need to be done. All our

experiments started at 10:00 AM and within 2 hours most larvae were either buried, gone, or eaten, leaving almost none of them available to surface predators. Predation rates did nonetheless increase as the day went by, as shown in figure 2.2B.

Ground beetles were one of the major predators observed eating pests in the field. Many of the carabids visited the area of study at night, although most observed predation events occurred in day time. Figure 2.2C shows the larvae's vulnerability period, this being during the first two hours of testing. This suggests that if pollen beetle larvae would drop to the ground to pupate at night, the predation pressure from carabids would have probably been higher as carabids visits highest between 11:00 PM and 12:00 AM at night. Further testing are required to verify this hypothesis and establish the period of highest predation risk. Predation was not observed when larvae are buried underground. The protective effect of burial was demonstrated in a previous study, in which 16,7% of larvae put below the ground in the field were eaten, compared to 99,6% that were on the ground surface (see chapter I).

2.6.3 Predators

We have identified many taxa visiting canola patches. These observations are the first to confirm the presence of potential natural enemies of pollen beetle larvae in canola fields in the Nearctic. Amongst them, some are considered as potential predators of the pests larvae on the ground, like carabids, rove beetles, spiders and centipedes (Büchs and Alford, 2003; Warner, 2001). However, we did not observe predation by rove beetles nor by spiders, but we did observe predation by slugs, centipedes, crickets, ants, carabids, sap beetles, and birds. This information would not have been available through the use of more conventional methods, as supported by Zou *et al.* (2017) with their experiments showing that predation on sentinel preys are not representative of real predation on live, mobile preys.

While ants are usually not considered predators of canola pests (Alford, 2003), we found them to be the major pollen beetle larvae predators. This is not the first time

ants have shown potential as efficient pest predators. A study examining predators of eggs of the brown blow fly, *Calliphora stygia* (Fabricius, 1781; Diptera: Calliphoridae) with cameras in field boundaries found that the second most effective predators were ants (Merfield *et al.*, 2004). Our results support the idea that ants may be significant biocontrol agents in the field. However, the distribution and abundance of ants remain to be established in nearctic canola fields.

Carabids were the second most important group of predators, and genus such as *Harpalus* sp. and *Bembidion* sp. predated on the pest. In Europe, 42 species of Carabidae have been identified to be potential predators of pest insects in canola crops (Williams *et al.*, 2010) and represent the most important taxa of ground-dwelling arthropods (Büchs and Alford 2003; Williams *et al.* 2010). Also, laboratory experiments showed that two of the most common species of carabids in canola fields and known European predators, *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798) and *Harpalus rufipes* (DeGeer, 1774), fed on pollen beetle larvae on the soil surface (see chapter I).

We observed other taxa feeding on pollen beetle larvae, although to lesser extents than those described above. Birds are underestimated as predators, since most of the time they are considered crop pests as well, but the species identified as the third most important predator in our study was the white-throated sparrow (*Zonotrichia albicollis* Gmelin, 1789). They ate more than one larvae per visit, making them effective predators with the highest predation rate in our experiment. We observed a slug feeding on a pollen beetle larva in 2014. Usually slugs are considered pests as well, but they were also filmed by camera feeding on *Galleria mellonella* (L., 1758; Lepidoptera: Pyralidae) larvae in the field (Grieshop *et al.*, 2012). Another example showing that using cameras unveils unsuspected interactions. In our trials, predators were observed feeding for the first time on pollen beetle larvae: the four-spotted sap beetle, centipedes and crickets. Even though centipedes are known predators, none

was recorded as one of canola pests (Alford, 2003), but crickets were found preying on adult flea beetles in canola fields (Burgess and Hinks, 1987).

In the end, using infrared cameras for this study has brought us the first actual predation events on pollen beetles occurring directly in canola fields of the Nearctic region. These informations can now be used to examine the potential of natural control, conservative biocontrol and integrated pest management strategies , before the pollen beetle expands its distribution to western Canada, where 4 million hectares of canola are grown annually (Mason *et al.*, 2003). Carabids are major predators of this pest, so it is important to enhance their bio-control by conserving their populations in canola fields, since rearing does not seem cost effective (Warner, 2001). Factors like the optimal soil type for the larvae to stay on the surface, hence available to predators, need to be studied more in depth. Also, since no canopy predation has yet been observed, further studies must continue searching for parasitoids of the pollen beetle. The use of technology like infrared cameras in the field has shown us to be very effective, though having its issues: identification limitations, stability when there is too much wind and lack of focus when filming in the flowers. It is also time consuming to analyse the videos, but being able to monitor activity directly in the field at multiple locations at the same time is of significant value.

2.7 Acknowledgements

We would like to thank Nicolas Flores, Michel Brouillard and Simon-Pierre Tchang for assistance in the field and video analysis, and all the members of the laboratories of biological control of UQAM and CEROM. Our acknowledgements also go to the farmers involved in this project. Funding was provided by Agriculture and Agri-Food Canada, CÉROM and the Ministère d'Agriculture, de Pêcheries et d'Alimentation du Québec (MAPAQ).

2.8 References

- Alford, D. V. (2003). Biocontrol of Oilseed Rape Pests. *Blackwell Science Ltd*. Oxford, UK.
- Barbercheck, M. E. (1992). Effect of Soil Physical Factors on Biological Control Agents of Soil Insect Pests. *The Florida Entomologist*, 75(4), 539–548.
- Büchs, W., & Alford, D. V. (2003). Predators of Oilseed Rape Pests. In *Biocontrol of Oilseed Rape Pests* (pp. 181–200).
- Burgess, L., & Hinks, C. (1987). Predation on adults of the flea beetle *Phyllotreta cruciferae* by the northern fall field cricket, *Gryllus pennsylvanicus*. *Canadian Entomologist*, 119, 495–496.
- Gagnon, M.-E., Labrie, G., & Lucas, E. (2017). Predation by nearctic carabids and ladybirds on the invasive pollen beetle, *Brassicogethes viridescens* (Coleoptera: Nitidulidae) in canola fields. *Applied Entomology and Zoology*.
- Goltermann, S. (1994). Das Auftreten von Laufkäfern (Col., Carabidae) auf Winterrapsfeldern und deren Einfluß auf Carabid-pest-interactions in oilseed rape den Massenwechsel von *Meligethes aeneus* (Col., Nitidulidae). PhD thesis, University of Rostock, Rostock, Germany.
- Grieshop, M. J., Werling, B., Buehrer, K., Perrone, J., Isaacs, R., & Landis, D. (2012). Big Brother is Watching: Studying Insect Predation in the Age of Digital Surveillance. *American Entomologist*, 58, 172–182.
- Hoebeke, E. r., & Wheeler, J. A. g. (1996). *Meligethes viridescens* (F.) (Coleoptera: Nitidulidae) in Maine, Nova Scotia, and Prince Edward Island: Diagnosis, distribution, and bionomics of a palearctic species new to North America. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 98, 221–227.
- Hokkanen, H. M. T. (2008). Biological control methods of pest insects in oilseed rape. *EPPO Bulletin*, 38(1), 104–109. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2008.01191.x>
- Hummel, J. D., Dosdall, L. M., Clayton, G. W., Harker, K. N., & O'Donovan, J. T. (2012). Ground Beetle (Coleoptera: Carabidae) Diversity, Activity Density, and Community Structure in a Diversified Agroecosystem. *Environmental Entomology*, 41(1), 72–80. <http://doi.org/10.1603/EN11072>
- Kromp, B. (1999). Carabid beetles in sustainable agriculture: A review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems*

- and Environment*, 74, 187–228. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00037-7](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00037-7)
- Labrie, G., Mason, P., Vincent, C., & Broadbent, B. A. (2013). Natural enemies of pollen beetle *Brassicogethes viridescens* (Coleoptera : Nitidulidae) in Québec and Ontario. In *Canadian Entomology Society*.
- Lumpur, K. (2013). The Economic Impact of Canola on the Canadian Economy Report for : Canola Council of Canada Winnipeg , Canada Research and analysis to inform your business decisions. *Canola Council of Canada*.
- Mason, P. G., Olfert, O., Sluchinski, L., Weiss, R. M., Boudreault, C., Grossrieder, M., & Kuhlmann, U. (2003). Actual and potential distribution of an invasive canola pest, *Meligethes viridescens* (Coleoptera: Nitidulidae), in Canada. *The Canadian Entomologist*, 135, 405–413. <http://doi.org/10.4039/n02-046>
- Merfield, C. ., Wratten, S. ., & Navntoft, S. (2004). Video analysis of predation by polyphagous invertebrate predators in the laboratory and field. *Biological Control*, 29(1), 5–13. [http://doi.org/10.1016/S1049-9644\(03\)00095-1](http://doi.org/10.1016/S1049-9644(03)00095-1)
- Noldus Information Technology. (2012). The Observer XT. Wageningen, The Netherlands.
- Réseau d'avertissement phytosanitaires (RAP). (2016). *Bulletin d'information N° 11 – Grandes cultures- Le méligèthe des crucifères: biologie, dépistage et stratégie d'intervention*.
- Sigsgaard, L., & Jacobsen, S. K. (2017). Functional agrobiodiversity- a novel approach to optimize pest control in fruit production. In *Landscape management for functional biodiversity IOBC-WPRS Bulletin Vol. 122* (pp. 26–28).
- Statistique Canada. (2016). Tableau 001-0010 - Estimation de la superficie, du rendement, de la production et du prix moyen à la ferme des principales grandes cultures, en unités métriques, annuel. Retrieved June 8, 2016, from <http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26?lang=fra&retrLang=fra&id=0010010&pattern=canola&tabMode=dataTable&srchLan=-1&p1=1&p2=50>
- Walton, N. J., & Grieshop, M. J. (2016). Video observations of the natural enemies of eggs of codling moth, *Cydia pomonella*, in apple orchards in Michigan, USA. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 159, 375–377. <http://doi.org/10.1111/eea.12447>
- Warner, D. J. (2001). The Potential of Carabidae in the Control of Insect Pests of Winter Oilseed Rape. PhD thesis, University of Hertfordshire, UK.

- Williams, I. H., Ferguson, A. W., Kruus, M., Veromann, E., & Warner, D. . (2010). Ground Beetles as Predators of Oilseed Rape Pests : Incidence, Spatio-Temporal Distributions and Feeding. In *Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests* (pp. 115–149).
- Zou, Y., Kraker, J. De, Bianchi, F. J. J. A., Telgen, M. D. Van, & Xiao, H. (2017). Video monitoring of brown planthopper predation in rice shows flaws of sentinel methods. *Scientific Reports*, 1–9. <http://doi.org/10.1038/srep42210>

CONCLUSION

Les nouvelles espèces de ravageurs ont toujours été considérées comme étant des menaces potentielles pour les agroécosystèmes. Il y a une tendance à négliger la recherche portant sur les ennemis naturels qui pourraient être présents dans leur nouveau milieu, au profit des pesticides pour contrer leur nuisance, dont l'ampleur est de surcroît souvent méconnue (Nash *et al.*, 2008; Williams, 2010). Bien sûr, les ravageurs de cultures ont un impact sur le rendement et l'économie, mais l'utilisation injustifiée de pesticides en a aussi sur notre santé et celle de l'environnement. En étudiant en profondeur la biologie des ravageurs et celle de leurs ennemis naturels, des stratégies judicieuses de lutte intégrée peuvent être mises sur pied.

Suite aux résultats exposés dans le présent mémoire, nous en savons davantage quant au contrôle naturel exercé sur le méligèthe des crucifères, qui est présent dans les champs de canola de l'Est canadien. Son cycle de vie expose les oeufs et les larves au risque de prédation par les ennemis naturels se trouvant dans la canopée durant environ un mois, puis les larves prêtes à effectuer la pupaison y sont exposées au sol en surface durant quelques minutes, puis sous le sol durant environ 2 semaines. L'étude des relations prédateur-proie par des expériences en laboratoire et en champs a permis de décrire la guildes des ennemis naturels de *B. viridescens* dans la région Néarctique. Une méthodologie rigoureuse a été utilisée dans cette expérience pour déterminer les activités en champs, soit des observations à l'aide de caméras. Cette technologie permet non seulement de contrer les biais posés par d'autres méthodes, mais fournit des informations essentielles telles que l'identification et le comportement des espèces enregistrées directement en champs.

L'utilisation de caméras comporte de nombreux avantages. C'est une technique qui n'est pas assez utilisée, mais qui permet d'obtenir des informations précises, fiables et surtout réalistes. L'installation de caméras infrarouges en champs permet des observations simultanées sur plusieurs sites différents, créant ainsi des répliquats rigoureux. L'analyse des vidéos peut se faire à n'importe quel moment par la suite, ce qui permet d'enregistrer beaucoup d'images sur le terrain. Il s'agit aussi d'une technique non-invasive qui n'altère pas les comportements des sujets observés (Meyhöfer, 2001). L'observation de nuit est permise grâce à la fonction infrarouge et celle-ci acquiert des données qui autrement resteraient pour la plupart inconnues, puisqu'elles se passent pendant une période qui n'est pas facile à observer. L'utilisation des caméras a aussi ses limites. Par exemple, lors de l'expérimentation dans les fleurs, le vent et les intempéries empêchaient une bonne mise au point de la caméra. Il faudrait peaufiner ce système en stabilisant la fleur ou mettre la larve dans un périmètre contrôlé afin de mieux étudier cette dimension. De plus, les caméras devaient être branchées à une source de courant électrique. Par contre, en régions plus isolées, un système de batteries longue durée devra être mis en place. Il faut aussi s'attendre à de nombreuses heures de visionnement pour l'analyse des enregistrements. Cette étape est la plus laborieuse, surtout si l'étude comporte plusieurs caméras. Mais avec un programme de prise de données tel que The Observer XT® (Noldus Information Technology), et peut-être même l'aide de plusieurs personnes formées pour identifier les images, l'analyse des vidéos devient plus commode.

Dans un premier temps, des expériences en laboratoire ont déterminé que les coccinelles *C. maculata lengi*, *C. septempunctata* et *P. quatuordecimpunctata* adultes se nourrissent des larves de méligèthe, bien que seulement au faible taux de 1,48 larve par 24 heures. De plus, aucune prédation n'a été observée dans la canopée sur le terrain, ce qui suggère que les Coccinellidae, Chrysopidae, et autres ne semblent pas être des prédateurs très importants sur les larves de méligèthes. Cependant, la culture

du canola renferme une grande quantité et diversité de coccinelles, ainsi d'autres études devront être conduites pour déterminer leur contribution en tant qu'agent de biocontrôle. Puisque le méligèthe passe beaucoup de temps dans la canopée, il serait intéressant de mettre plus d'efforts sur une plus grande durée d'observation pendant cette période. Il serait aussi intéressant de vérifier la voracité des larves de coccinelles sur notre ravageur. Dans l'étude de la guildes des ennemis naturels, toute information recueillie peut contribuer à l'élaboration d'une stratégie de lutte intégrée.

Les Carabidae constituent la famille de prédateurs généralistes la plus abondante dans les agro-écosystèmes (Kromp, 1999; Williams *et al.*, 2010) et c'est pourquoi leur voracité a été testée dans cette étude. Trois des espèces de carabes les plus communes en champs de canola se sont avérées s'attaquer aux larves de méligèthe. *Pterostichus melanarius*, *H. rufipes* et *C. fossor* ont démontré la capacité de creuser pour recueillir certaines larves enfouies, bien que *P. melanarius* et *H. rufipes* étaient plus voraces sur les larves situées en surface du sol. Cependant, l'enfouissement reste une protection efficace pour les larves contre la prédation. Ceci est appuyé par nos expériences effectuées en champs, où 99,6 % des larves en surface ont subi de la prédation. De plus, tous les événements de prédation observés à l'aide des caméras se sont fait en surface et nous avons observé des taux de prédation variant entre 15,9 % et 24,6 % selon le type de sol. Les prédateurs observés étaient non seulement des carabes, mais aussi des fourmis, des oiseaux, des centipèdes, des grillons, un nitidule à quatre points et une limace. Par contre, il est clair que puisque les larves ont toutes été déposées au même moment de la journée, certains prédateurs potentiels sont plus ciblés que d'autres. Par exemple, les carabes ont effectué la majorité de leurs prédateurs le jour, mais il y a avait nettement plus de passages durant la nuit. De plus, le moment exact de la journée où les larves se laissent tomber n'est pas déterminé. Une expérience comparant différents moments où les larves se laissent tomber pourrait être effectuée, pour déterminer, par exemple, si le potentiel de prédation à la surface serait plus ou moins élevé durant la nuit. Aussi, nos expériences présentent un

lien possible entre les différents types de sol et le temps d'enfouissement des larves. Il serait intéressant de mesurer ce facteur, pour en faire un élément important lors d'un plan de lutte intégrée. Nos observations démontrent qu'en 2015 (c'est-à-dire en sol argileux) les larves restaient plus longtemps à la surface et disponibles aux prédateurs.

Lorsqu'un ravageur entre dans une zone d'invasion, et que peu d'information est disponible quant à ses ennemis naturels; il est importante d'en faire l'étude pour connaître davantage sa biologie. La méthode détaillée par notre étude peut très bien s'appliquer à d'autres nouveaux ravageurs, tels que la punaise marbrée *Halyomorpha halys* (Stål, 1855 ; Hemiptera: Pentatomidae) et la cécidomyie du chou-fleur *Contarinia nasturtii* (Kieffer, 1888; Diptera: Cecidomyiidae). Des observations en laboratoire ont été réalisées sur ces nouveaux ravageurs et ont déterminé quelques prédateurs potentiels, mais rien de concret n'a été observé sur le terrain (Abram *et al.*, 2014; Corlay *et al.*, 2007). L'utilisation de caméras a déjà démontré des utilités en champs dans plusieurs types de cultures et sur différents sujets (Grieshop *et al.*, 2012; Meyhöfer, 2001; Zou *et al.*, 2017). Elle pourrait donc s'appliquer, par exemple, à trouver des ennemis naturels de *H. halys* et *C. nasturtii* et d'autres futurs envahisseurs et ainsi contribuer à la recherche de solutions pour contrôler ces ravageurs.

Finalement, les ennemis naturels en région néarctique ont un potentiel de contrôle variable selon le stade de développement du méligèthe des crucifères dans le canola. Dans la canopée, les larves de premier stade sont très faiblement affectées par la prédation et pas du tout par le parasitisme. Selon nos recherches, les larves de deuxième stade qui sont prêtes à effectuer leur pupaison au sol subissent une pression de prédation potentielle plus élevée. Bien qu'il y ait significativement plus de prédation à la surface du sol, lorsque les larves s'y laissent tomber, la fenêtre de vulnérabilité est trop courte pour permettre un contrôle efficace. Lorsqu'elles sont finalement enfouies sous le sol, le potentiel de contrôle est à nouveau très faible. La

guilde des ennemis naturels identifiée par cette étude ne suffit malheureusement pas à contrôler le méligèthe des crucifères en cultures de canola de la région néarctique.

Puisqu'un nouveau ravageur est à l'étude, toutes les informations acquises sont essentielles à la compréhension de la biologie de l'insecte. Les résultats obtenus atteignent ainsi l'objectif d'en connaître davantage sur les ennemis naturels du méligèthe des crucifères se retrouvant dans la région Néarctique. Les prédictions sur la voracité des prédateurs ont été confirmées: les prédateurs plus grands et carnivores sont plus voraces et l'enfouissement diminue la voracité des prédateurs de surface. La dispersion du méligèthe des crucifères reste toujours à surveiller, puisque s'il continue à se propager vers les prairies de l'Ouest canadien, où plus de 4 millions d'hectares de canola sont produits chaque année. L'arrivée du méligèthe dans l'ouest pourrait entraîner d'importantes conséquences économiques et écologiques (Mason *et al.*, 2003). De plus, il a été démontré qu'avec les changements climatiques à venir, la région des prairies canadiennes est très propice à l'installation du ravageur (Mason *et al.*, 2003; Olfert and Weiss, 2006). Il ne manque qu'aux scientifiques de pousser les recherches afin de minimiser les impacts indésirables tout en respectant l'environnement.

RÉFÉRENCES

- Abram, P. K., Doyon, J., Brodeur, J., Gariépy, T. D., & Boivin, G. (2014). Susceptibility of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) eggs to different life stages of three generalist predators. *The Canadian Entomologist*, 5(2015), 1–5. <http://doi.org/10.4039/tce.2014.41>
- Beisel, J.-N. & Lévêque, C. (2010). Introductions d'espèces dans les milieux aquatiques : Faut-il avoir peur des invasions biologiques? Éditions Quae, Synthèses, 232 p.
- Büchs, W., & Alford, D. V. (2003). Predators of Oilseed Rape Pests. In *Biocontrol of Oilseed Rape Pests* (pp. 181–200).
- Butt, T.M., Carreck, N.L., Ibrahim, L. & Williams, I.H. (1998). Honey-bee-mediated Infection of Pollen Beetle (*Meligethes aeneus* Fab.) by the Insect-pathogenic Fungus, *Metarhizium anisopliae*. *Biocontrol Science and Technology*, 8(4), 533–538.
- Corlay, F., Boivin, G., & Bélair, G. (2007). Efficiency of natural enemies against the swede midge *Contarinia nasturtii* (Diptera: Cecidomyiidae), a new invasive species in North America. *Biological Control*, 43(2), 195–201. <http://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.08.002>
- Dosdall, L.M. & Mason, P.G. (2010). Key Pests and Parasitoids of Oilseed Rape or Canola in North America and the Importance of Parasitoids in Integrated Management. In *Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests* (ch. 6).
- Friedrichs, K. (1920). Untersuchungen über den Rapsglanzkäfer in Mecklenburg. *Zeitschrift Für Angewandte Entomologie*, 7, 1–36.
- Grieshop, M. J., Werling, B., Buehrer, K., Perrone, J., Isaacs, R., & Landis, D. (2012). Big Brother is Watching: Studying Insect Predation in the Age of Digital Surveillance. *American Entomologist*, 58, 172–182.

- Hallett, R. H., Goodfellow, S. A., & Heal, J. D. (2007). Monitoring and detection of the swede midge (Diptera: Cecidomyiidae). *The Canadian Entomologist*, 139(5), 700–712. <http://doi.org/10.4039/n05-071>
- Hodek, I., & Evans, E. W. (2012). Food Relationships. In I. Hodek, H. F. van Emden, & A. Honek (Eds.), *Ecology and Behaviour of the Ladybird Beetles (Coccinellidae)* (pp. 141–274). Blackwell Publishing Ltd.
- Hoebeke, E. r., & Wheeler, J. A. g. (1996). *Meligethes viridescens* (F.) (Coleoptera: Nitidulidae) in Maine, Nova Scotia, and Prince Edward Island: Diagnosis, distribution, and bionomics of a palearctic species new to North America. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 98, 221–227.
- Kromp, B. (1999). Carabid beetles in sustainable agriculture: A review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74, 187–228. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00037-7](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00037-7)
- Kurppa, S. (1989). Pests of cultivated plants in Finland during 1988. *Annales Agriculturae Fenniae*, 28, 97–102.
- Labrie, G., Mason, P., Vincent, C., & Broadbent, B. A. (2013). Natural enemies of pollen beetle *Brassicogethes viridescens* (Coleoptera : Nitidulidae) in Québec and Ontario. In *Canadian Entomology Society*.
- Labrie, G., Vanasse, A., Rioux, S., & Pageau, D. (2012). *Incidence des ravageurs et maladies du canola au Québec et effet des pratiques culturales et phytosanitaires*.
- Lipa, J. J., & Hokkanen, H. M. T. (1992). *Nosema meligethi* I. & R.(Microsporida) in populations of *meligethes* spp. in Europe. *Biocontrol Science and Technology*, 2.2(April 2015), 119–125. <http://doi.org/10.1080/09583159209355225>
- Lumpur, K. (2013). The Economic Impact of Canola on the Canadian Economy Report for: Canola Council of Canada Winnipeg , Canada Research and analysis to inform your business decisions. *Canola Council of Canada*.
- Mänd, M., Williams, I.H., Viik, E. & Karise, R. (2010). Oilseed Rape, Bees and Integrated Pest Management. In *Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests* (ch. 14).
- Mason, P. G., Olfert, O., Sluchinski, L., Weiss, R. M., Boudreault, C., Grossrieder, M., & Kuhlmann, U. (2003). Actual and potential distribution of an invasive canola pest, *Meligethes viridescens* (Coleoptera: Nitidulidae), in Canada. *The Canadian Entomologist*, 135, 405–413. <http://doi.org/10.4039/n02-046>

- Meyhöfer, R. (2001). Intraguild predation by aphidophagous predators on parasitised aphids: The use of multiple video cameras. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 100, 77–87. <http://doi.org/10.1023/A:1019237229570>
- Michaud, J. P. (2012). Coccinellids in Biological Control. In I. Hodek, H. F. van Emden, & A. Honek (Eds.), *Ecology and Behaviour of the Ladybird Beetles (Coccinellidae)* (pp. 488–519). Blackwell Publishing Ltd.
- Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales de l'Ontario (MAARO). (2009). Guide agronomique des grandes cultures.
- Nash, M. A., Thomson, L. J., & Hoffmann, A. A. (2008). Effect of remnant vegetation, pesticides, and farm management on abundance of the beneficial predator *Notonomus gravis* (Chaudoir) (Coleoptera: Carabidae). *Biological Control*, 46(2), 83–93. <http://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.03.018>
- Nilsson, C. (1988a). The pollen beetle (*Meligethes aeneus*) in winter and spring rape at Alnarp 1976-1978. I. Migration and sex ratio. *Växtskyddnotiser*, 52, 134-138.
- Nilsson, C. (1988b). The pollen beetle (*Meligethes aeneus*) in winter and spring rape at Alnarp 1976-1978. II. Oviposition. *Växtskyddnotiser*, 52, 139-144.
- Olfert, O., & Weiss, R. M. (2006). Impact of climate change on potential distributions and relative abundances of *Oulema melanopus*, *Meligethes viridescens* and *Ceutorhynchus obstrictus* in Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113, 295–301. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2005.10.017>
- Réseau d'avertissement phytosanitaires (RAP). (2016). *Bulletin d'information N° 11 – Grandes cultures- Le mélégièthe des crucifères: biologie, dépistage et stratégie d'intervention*.
- Roy, H.E., Lawson Handley, L.-J., Schönrogge, K., Poland, R.L. & Purse, B.V. (2011). Can the enemy release hypothesis explain the success of invasive alien predators and parasitoids? *BioControl*, 56, 451-468.
- Statistique Canada. (2016). Tableau 001-0010 - Estimation de la superficie, du rendement, de la production et du prix moyen à la ferme des principales grandes cultures, en unités métriques, annuel. Retrieved June 8, 2016, from <http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26?lang=fra&retrLang=fra&id=0010010&pattern=canola&tabMode=dataTable&srchLan=-1&p1=1&p2=50>
- Steen, R. (2016). Diel activity, frequency and visit duration of pollinators in focal plants: In situ automatic camera monitoring and data processing. *Methods in Ecology and Evolution*, 203–213. <http://doi.org/10.1111/2041-210X.12654>

- Tremblay, L., Labrie, G., & Pageau, D. (2011). Gestion intégrée des insectes nuisibles dans la culture du canola au Québec. *Fédération Des Producteurs de Cultures Commerciales Du Québec*.
- Ulber, B., Williams, I.H., Klukowski, Z., Luik, A. & Nilsson, C. (2010). Parasitoids of Oilseed Rape Pests in Europe : Key Species for Conservation Biocontrol. In *Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests* (ch. 2).
- Walton, N. J., & Grieshop, M. J. (2016). Video observations of the natural enemies of eggs of codling moth, *Cydia pomonella*, in apple orchards in Michigan, USA. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 159, 375–377. <http://doi.org/10.1111/eea.12447>
- Warner, D. J. (2001). *The Potential of Carabidae in the Control of Insect Pests of Winter Oilseed Rape*. PhD thesis, University of Hertfordshire.
- Williams, I. H. (2010). *Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests*. Springer. http://doi.org/10.1007/978-90-481-3983-5_4
- Williams, I. H., Ferguson, A. W., Kruus, M., Veromann, E., & Warner, D. (2010). Ground Beetles as Predators of Oilseed Rape Pests : Incidence, Spatio-Temporal Distributions and Feeding. In *Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests* (pp. 115–149).
- Zimmer, C. T., Bass, C., Williamson, M. S., Kaussmann, M., Wölfel, K., Gutbrod, O., & Nauen, R. (2014). Molecular and functional characterization of CYP6BQ23, a cytochrome P450 conferring resistance to pyrethroids in European populations of pollen beetle, *Meligethes aeneus*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 45(1), 18–29. <http://doi.org/10.1016/j.ibmb.2013.11.008>
- Zou, Y., Kraker, J. De, Bianchi, F. J. J. A., Telgen, M. D. Van, & Xiao, H. (2017). Video monitoring of brown planthopper predation in rice shows flaws of sentinel methods. *Scientific Reports*, 1–9. <http://doi.org/10.1038/srep42210>